



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENADORIA GERAL DE PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/PRODUÇÃO VEGETAL**

DOUGLAS RAFAEL E SILVA BARBOSA

**EFEITOS DA RADIAÇÃO MICROONDAS NAS DIFERENTES FASES DO CICLO
EVOLUTIVO DE *Callosobruchus maculatus* (FABR., 1775) (COLEOPTERA:
BRUCHIDAE) VISANDO SEU CONTROLE EM FEIJÃO-CAUPI**

**TERESINA, PI-BRASIL
2010**

**EFEITOS DA RADIAÇÃO MICROONDAS NAS DIFERENTES FASES DO CICLO
EVOLUTIVO DE *Callosobruchus maculatus* (FABR., 1775) (COLEOPTERA:
BRUCHIDAE) VISANDO SEU CONTROLE EM FEIJÃO-CAUPI**

DOUGLAS RAFAEL E SILVA BARBOSA
Biólogo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Piauí, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Produção Vegetal.

ORIENTADORA: Prof.^a Dr.^a LÚCIA DA SILVA FONTES

**TERESINA, PI-BRASIL
2010**

B238e

Barbosa, Douglas Rafael e Silva

Efeitos da radiação microondas nas diferentes fases do ciclo evolutivo de *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775) (Coleoptera: Bruchidae) visando seu controle em feijão-caupi [manuscrito] / Douglas Rafael e Silva Barbosa – 2010.
89f. : il. col.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Piauí.
Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2010

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Lúcia da Silva Fontes.

1. *Vigna unguiculata* 2. Caruncho 3. Irradiação 4. Grãos armazenados 5. Desinfestação I.Título.

CDD 635. 659 2

EFEITOS DA RADIAÇÃO MICROONDAS NAS DIFERENTES FASES DO CICLO
EVOLUTIVO DE *Callosobruchus maculatus* (FABR., 1775) (COLEOPTERA:
BRUCHIDAE) VISANDO SEU CONTROLE EM FEIJÃO-CAUPI

DOUGLAS RAFAEL E SILVA BARBOSA

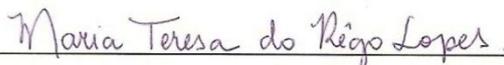
Biólogo

Aprovado em 22 / 03 / 2010

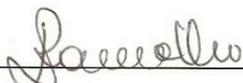
Comissão Julgadora:



Profa. Dra. Lúcia da Silva Fontes – Presidente
DB/CCN/UFPI



Pesq. Dra. Maria Teresa do Rêgo Lopes - Titular
Embrapa Meio-Norte



Prof. Dr. Paulo Roberto Ramalho Silva - Titular
DF/CCA/UFPI



Pesq. Dr. Paulo Henrique Soares da Silva – Titular
Embrapa Meio-Norte

*"Um instante de pura sanidade e estranha
ilucidez, pensar na vida."*

A minha namorada Josynaria Araújo, pelo carinho e companheirismo.

A meus irmãos Diogo Brunno e Diógenes Fabrício, pela amizade.

A meus pais Francisco Barbosa e Maria das Graças, pela força.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela minha existência e forças para alcançar vitórias.

A Universidade Federal do Piauí, por ter concedido a oportunidade de cursar o mestrado em Agronomia e desenvolver todos os meus trabalhos.

Ao CNPq pela concessão de bolsa de estudo.

A professora Dr^a. Lúcia da Silva Fontes, pela orientação neste trabalho, por me dar a oportunidade de ingressar na iniciação científica, por quatro anos de orientação no Laboratório de Entomologia, pela parceria nas produções científicas, pelos conselhos, por fim pela ajuda na condução dos ensaios deste trabalho.

Ao pesquisador Dr. Francisco Rodrigues Freire Filho representando a Embrapa Meio-Norte pela concessão das cultivares de feijão-caupi para a realização do experimento.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação, pelos ensinamentos científicos, em especial ao Prof.^o Dr. Paulo Roberto Ramalho Silva por dar oportunidade à análise crítica de artigos e pela parceria em produções científicas como artigos e capítulos de livro e ao Prof^o. Dr. José Airton Nunes pelos ensinamentos valiosos em estatística.

Ao Prof^o. Dr. João Batista Lopes pelo auxílio na análise estatística dos dados deste trabalho.

Ao Secretário Vicente de Sousa Paulo pelo respeito e prontidão no atendimento.

A Alyne Freire e Elizangela Pereira pelo auxílio na condução dos ensaios.

A todos os meus colegas de curso pelo companheirismo, em especial a Ruty Melo, Jadson Antunes e Antônio Almeida.

A minha namorada Josynaria Araújo, pelo amor, companheirismo e por ter me auxiliado na execução dos ensaios e confecção desta dissertação.

A Fabiana Figueiredo (*in memoriam*) pelo incentivo a continuar estudando.

A meus irmãos Diogo Brunno e Diógenes Fabrício pelo apoio e companheirismo.

A meu pai Francisco Barbosa que me ajudou em alguns momentos desta caminhada.

A minha mãe Maria das Graças por ter acreditado desde o início na realização deste sonho e por continuar me dando suporte para que eu continue a tentar minha realização profissional.

Finalmente, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta dissertação.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMO GERAL	xii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO GERAL	14
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1. A cultura do feijão-caupi	16
2.1.1. Caracterização botânica e morfologia	16
2.1.2. Origem e distribuição	17
2.1.3. Importância sócio-econômica	18
2.2. Caruncho do feijão-caupi <i>Callosobruchus maculatus</i>	20
2.2.1. Caracterização e biologia	20
2.2.2. Importância econômica	21
2.3. Armazenamento de grãos e controle de insetos através de irradiação	22
2.3.1. Radiação microondas	25
2.3.2. Uso da radiação microondas no controle de insetos	26
3. Referências Bibliográficas	30
4. CAPÍTULO I: Radiação microondas em ovos de <i>Callosobruchus maculatus</i> visando seu controle em cultivares de feijão-caupi.....	41
4.1. Resumo	41
4.2. Abstract	41
4.3. Introdução	42
4.4 Material e métodos	44
4.5. Resultados e Discussão	45
4.6. Conclusões	50
4.7. Referências	50
5. CAPÍTULO II: Radiação microondas em larvas de <i>Callosobruchus maculatus</i> visando seu controle em cultivares de feijão-caupi.....	53

5.1. Resumo	53
5.2. Abstract	53
5.3. Introdução	54
5.4 Material e métodos	55
5.5. Resultados e Discussão	57
5.6. Conclusões	62
5.7. Referências	62
6. CAPÍTULO III: Radiação microondas em pupas de <i>Callosobruchus maculatus</i> visando seu controle em cultivares de feijão-caupi	65
6.1. Resumo	65
6.2. Abstract	65
6.3. Introdução	66
6.4 Material e métodos	67
6.5. Resultados e Discussão	68
6.6. Conclusões	72
6.7. Literatura Citada	72
7. CAPÍTULO IV: Radiação microondas em adultos de <i>Callosobruchus maculatus</i> visando seu controle em cultivares de feijão-caupi	75
7.1. Resumo	75
7.2. Abstract	76
7.3. Introdução	76
7.4 Material e métodos	78
7.5. Resultados e Discussão	80
7.6. Conclusões	86
7.7. Referências	86
8. CONCLUSÕES GERAIS	89

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

TABELA 1. Número médio de <i>Callosobruchus maculatus</i> emergidos por tratamento, provenientes de ovos irradiados com microondas em grãos de cultivares de feijão-caupi	46
TABELA 2. Número médio de <i>Callosobruchus maculatus</i> emergidos por grão, provenientes de ovos irradiados com microondas em grãos de cultivares de feijão-caupi	47
TABELA 3. Período médio ovo-adulto de <i>Callosobruchus maculatus</i> provenientes de ovos irradiados com microondas em grãos de cultivares de feijão-caupi	48

CAPÍTULO II

TABELA 1. Número médio de <i>Callosobruchus maculatus</i> emergidos por tratamento, provenientes de larvas irradiadas com doses de microondas em grãos de cultivares de feijão-caupi	58
TABELA 2. Número médio de insetos de <i>Callosobruchus maculatus</i> emergidos por grão, provenientes de larvas irradiadas com doses de microondas em cultivares de feijão-caupi	59
TABELA 3. Período médio ovo-adulto de <i>Callosobruchus maculatus</i> provenientes de larvas irradiadas com microondas em grãos de cultivares de feijão-caupi.....	60

CAPÍTULO III

TABELA 1. Número médio de <i>Callosobruchus maculatus</i> emergidos por tratamento, provenientes de pupas irradiadas com microondas em grãos de cultivares de feijão-caupi	69
TABELA 2. Número médio de <i>Callosobruchus maculatus</i> emergidos por grão, provenientes de pupas irradiadas com microondas em cultivares de feijão-caupi.....	69
TABELA 3. Período médio ovo-adulto de <i>Callosobruchus maculatus</i> provenientes de pupas irradiadas com microondas em grãos de cultivares de feijão-caupi.....	70

CAPÍTULO IV

TABELA 1. Número médio de insetos emergidos por tratamento, provenientes da geração parental de <i>Callosobruchus maculatus</i> irradiados com microondas juntamente com grãos de feijão-caupi	82
TABELA 2. Número médio de insetos emergidos por grão, provenientes da geração parental de <i>Callosobruchus maculatus</i> irradiados com microondas juntamente com grãos de feijão-caupi.....	83
TABELA 3. Período médio ovo-adulto de insetos da geração filial, provenientes de <i>Callosobruchus maculatus</i> irradiados com microondas juntamente com grãos de feijão-caupi	84

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

FIGURA 1. Efeitos da radiação microondas em ovos de <i>Callosobruchus maculatus</i> nas cultivares de feijão-caupi. A) Número de insetos emergidos por tratamento na cultivar BRS Paraguaçu. B) Número de insetos por grão na cultivar BRS Paraguaçu. C) Número de insetos emergidos por tratamento na cultivar BRS Xique-xique. D) Número de insetos por grão na cultivar BRS Xique-xique	49
--	----

CAPÍTULO II

FIGURA 1. Efeitos da radiação microondas em larvas de <i>Callosobruchus maculatus</i> nas cultivares de feijão-caupi. A) Número de insetos emergidos por tratamento na cultivar BRS Paraguaçu. B) Número de insetos por grão na cultivar BRS Paraguaçu. C) Número de insetos emergidos por tratamento na cultivar BRS Xique-xique. D) Número de insetos por grão na cultivar BRS Xique-xique	61
--	----

CAPÍTULO III

FIGURA 1. Efeitos da radiação microondas em pupas de <i>Callosobruchus maculatus</i> nas cultivares de feijão-caupi. A) Número de insetos emergidos por tratamento na cultivar BRS Paraguaçu. B) Número de insetos por grão na cultivar BRS Paraguaçu. C) Número de insetos emergidos por tratamento na cultivar BRS Xique-xique. D) Número de insetos por grão na cultivar BRS Xique-xique	71
---	----

CAPÍTULO IV

FIGURA 1. Mortalidade (%) de <i>Callosobruchus maculatus</i> irradiados com microondas juntamente com grãos de feijão-caupi. A) Insetos irradiados com a cultivar BRS Paraguaçu. B) Insetos irradiados com a cultivar BRS Xique-xique	80
FIGURA 2. Comparação entre a geração parental e filial de insetos de <i>Callosobruchus maculatus</i> irradiados com microondas juntamente com grãos de feijão-caupi. A) Insetos irradiados com a cultivar BRS Paraguaçu. B) Insetos irradiados com a cultivar BRS Xique-xique.....	81

FIGURA 3. Efeitos da radiação microondas em insetos adultos de *Callosobruchus maculatus* nas cultivares de feijão-caupi. A) Número de insetos emergidos por tratamento na cultivar BRS Paraguaçu. B) Número de insetos por grão na cultivar BRS Paraguaçu. C) Número de insetos emergidos por tratamento na cultivar BRS Xique-xique. D) Número de insetos por grão na cultivar BRS Xique-xique 85

EFEITOS DA RADIAÇÃO MICROONDAS NAS DIFERENTES FASES DO CICLO EVOLUTIVO DE *Callosobruchus maculatus* (FABR., 1775) (COLEOPTERA: BRUCHIDAE) VISANDO SEU CONTROLE EM FEIJÃO-CAUPI

Autor: Douglas Rafael e Silva Barbosa

Orientadora: Dr^a. Lúcia da Silva Fontes

RESUMO

O Brasil é um dos maiores produtores e consumidores de grãos de feijão, sendo o caupi (*Vigna unguiculata*) muito importante para a economia Nordeste, sofrendo muitas perdas durante o armazenamento. Uma das causas destes prejuízos está relacionada ao ataque de bruquídeos, como o caruncho *Callosobruchus maculatus*. Em vista disso, o presente trabalho objetivou avaliar os efeitos da radiação microondas nas diferentes fases do ciclo evolutivo de *C. maculatus* visando seu controle nas cultivares de feijão-caupi BRS Xique-xique e BRS Paraguaçu e determinar a mais resistente. A irradiação foi feita em um forno microondas comercial, com frequência de 2.450 MHz, rendimento de potência de 800 W, sendo utilizado em baixa potência (30%). Os tempos de exposição utilizados foram: 0 (test.), 60, 90, 120 e 150 segundos para todas as fases do ciclo evolutivo. A cultivar BRS Xique-xique mostrou-se mais resistente que a cultivar BRS Paraguaçu, exceção feita à fase larval. Observou-se, de modo geral, redução do número de insetos emergidos por tratamento e por grão e aumento do período ovo-adulto, com uma maior exposição à radiação microondas. O tempo de exposição necessário para o controle da fase pupal foi de 90 segundos, para a fase larval e insetos adultos foi de 120 segundos e para a fase de ovo foi de 150 segundos. Portanto, concluiu-se que a fase pupal foi a mais sensível e a fase de ovo menos suscetível, podendo-se recomendar o tempo de exposição de 150 segundos para o controle de todas as fases do ciclo evolutivo do inseto.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*, caruncho, irradiação, grãos armazenados, desinfestação.

EFFECTS OF MICROWAVE RADIATION IN DIFFERENT PHASES OF THE CYCLE OF EVOLUTION *Callosobruchus maculatus* (FABR., 1775) (COLEOPTERA: BRUCHIDAE) AIMING ITS CONTROL IN COWPEA

Author: Douglas Rafael e Silva Barbosa

Guiding: Dr^a. Lúcia da Silva Fontes

ABSTRACT

Brazil is one of the largest producers and consumers of beans, and cowpea (*Vigna unguiculata*) is very important for the Northeastern economy, suffering heavy losses during storage. One of the causes of these losses is related to bruchid attack, as the beetle *Callosobruchus maculatus*. In view of this, our study aimed to evaluate the effects of microwave radiation at different stages of the life cycle of *C. maculatus* aiming their control in cowpea cultivars BRS and BRS-xique Xique Paraguaçu and determine the most resistant. Irradiation was done in a commercial microwave oven with a frequency of 2450 MHz, power output of 800 W and was used on low power (30%). The exposure times were: 0 (test.), 60, 90, 120 and 150 seconds for all phases of the cycle. The BRS-Xique xique was more resistant than BRS Paraguaçu, except for the larval stage. It was observed, in general, reducing the number of insects emerged per treatment and per grain and increasing egg-adult period, with greater exposure to microwave radiation. The exposure time required for the control of the pupal stage was 90 seconds, for the larval and adult insects was 120 seconds and the egg stage was 150 seconds. Therefore, we concluded that the pupal stage was the most sensitive and less susceptible egg stage, being able itself to recommend the exposure time of 150 seconds to control all phases of the life cycle of the insect.

Key words: *Vigna unguiculata*, bean weevil, irradiation, stored grains, disinfestation.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A produção nacional de grãos apresenta um aumento cada vez maior, desempenhando um papel significativo na economia do país. Em vista da crescente demanda dos países importadores, vem se requerendo o estabelecimento de condições favoráveis à produção de grãos, sendo importante garantir sua qualidade desde a semeadura até a fase de armazenamento, a qual é bastante prejudicada pelo ataque de pragas.

No Brasil, a cultura do feijão é uma das mais importantes, não apenas por fazer parte, em boa proporção, da massa alimentar da população, mas, sobretudo por envolver uma grande área de produção cultivada, na sua maior parte, por pequenos agricultores, assim distribuídos: 77% de toda a produção de feijão é proveniente do gênero *Phaseolus* e 23% do gênero *Vigna*. A região Nordeste é a principal produtora, em termos de área plantada e produção, sendo cerca de 60% de toda a produção do gênero *Vigna* (YOKOYAMA et al., 2000).

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), também conhecido nas populações rurais como feijão-de-corda e feijão macassar, é cultivado na região Meio-Norte do Brasil em caráter predominantemente de subsistência pelas populações rural e, em menor escala, pela urbana, tornando-se, assim, produto de grande expressão sócio-econômica para essa região (MELO; CARDOSO, 2000).

O Estado do Ceará, juntamente com os Estados do Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí e Rio Grande do Norte constituem grandes produtores da região Nordeste. O feijão-caupi apresenta-se como uma fonte de proteína para a população campesina, principalmente. Também, é utilizado na produção de feno para nutrição protéica dos animais, bem como uma opção para fixação de nitrogênio e incorporação de matéria orgânica em solos, uma vez que é capaz de se desenvolver em situações de baixa fertilidade (FREITAS, 2006).

No cenário da produção agrícola nordestina, dadas as frequentes ocorrências de insuficiência pluviométrica, o feijão, pelas suas características de ciclo curto e tolerância a estresse hídrico maior que o de muitas outras culturas, comumente cultivadas na região, ocupa especial relevância no suprimento alimentar e na composição da renda familiar, em virtude das menores ocorrências de perdas observadas e da ocupação de mão-de-obra em períodos sazonais, como é o caso do cultivo em segunda safra, com o aproveitamento de várzeas úmidas ou irrigáveis (FROTA; PEREIRA, 2000).

O caruncho *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775) é uma das principais pragas do feijão-caupi, ocasionando danos diretos e facilitando o ataque de pragas secundárias e fungos.

Os prejuízos provocados por essa praga aos grãos devido ao ataque são: perda de peso, redução do poder germinativo e danos qualitativos pela presença de ovos e excrementos deixados.

O controle químico é o mais utilizado para combater este inseto-praga, porém seu uso indiscriminado provoca sérios danos ao ambiente devido a efeitos residuais, surgimento de mecanismos de resistência pelos insetos, intoxicação de aplicadores e etc.

O controle através de métodos físicos como a utilização de irradiação pode ser uma alternativa viável à utilização de produtos químicos, por não deixar resíduos tóxicos no ambiente. O uso de radiação microondas, raios X, elétrons acelerados, radiação gama e radiofrequência parecem ser boas alternativas aos inseticidas químicos, porém, a aplicação destes métodos físicos de controle deve ser feita de acordo com a legislação vigente, tentando o controle dos insetos praga com uma dose mínima que seja letal e que provoque o mínimo de danos ao produto irradiado. A utilização de radiação no controle de pragas, apesar de ser uma tecnologia relativamente cara para sua implantação, apresenta custos competitivos a médio e longo prazo em relação à aplicação freqüente de produtos químicos.

A radiação microondas se torna uma importante ferramenta para o controle de pragas de grãos armazenados, por produzir calor interno nos grãos, causando a mortalidade de fases imaturas dos insetos, morte de insetos adultos, além de afetar a reprodução e causar deformações em sobreviventes.

Em vista dos problemas relacionados ao ataque do caruncho *C. maculatus* a grãos de feijão-caupi armazenados, propôs-se a presente pesquisa com o objetivo de avaliar os efeitos da radiação microondas sobre as diferentes fases do ciclo evolutivo deste inseto-praga nas cultivares de feijão-caupi BRS Xique-xique e BRS Paraguaçu e avaliá-las quanto à resistência.

Esta dissertação foi estruturada em quatro capítulos na forma de artigos científicos, segundo normas para submissão das revistas Pesquisa Agropecuária Brasileira (capítulo I que corresponde ao ensaio com ovos e capítulo IV que corresponde ao ensaio com insetos adultos), Ciência Agrônômica (capítulo II que corresponde ao ensaio com larvas) e Revista Brasileira de Ciências Agrárias (capítulo III que corresponde ao ensaio com pupas).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura do feijão-caupi

2.1.1. Caracterização botânica e morfologia

O feijão-caupi é uma Dicotiledônea que pertence à ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolinae, gênero *Vigna* e espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (SILVA; FREIRE FILHO, 1999). O gênero *Vigna* apresenta-se subdividido em sete subgêneros: *Vigna*, *Plectotropis*, *Ceratotropis*, *Lesiocarpa*, *Sigmoidotropis*, *Haydonia* e *Macrorhycha* dentre os quais o subgênero *Vigna* se destaca, por compreender o maior número de espécies, apresentando seis seções: *Catiang*, *Comosae*, *Leibrehtsia*, *Macrodonatae*, *Reticulatae* e *Vigna* (PADULOSI; NG, 1997)

Além do feijão-caupi, diversas outras espécies do gênero *Vigna* têm importância econômica e social. As demais espécies amplamente cultivadas pertencem ao subgênero *Ceratotropis* (Piper) Verdcourt incluindo feijão-mungo [*V. radiata* (L.) Wilczek], feijão-rajado [*V. mungo* (L.) Hepper], feijão-adzuki [*V. angularis* (Willd.) Ohwi & Ohashi], feijão-arroz [*V. umbellata* (Thunb.) Ohwi & Ohashi] e [*V. aconitifolia* (Jacq.) Marechal], sendo consideradas por Maréchal et al. (1978), como proximamente relacionadas.

É uma planta anual herbácea, trepadora ou não, com denominação variada de acordo com a região, como: feijão-de-corda, feijão pardo, feijão de vara, feijão de vaca, caupi, feijão baiano e feijão-fradinho (ALMEIDA et al., 2005).

As variedades do gênero *Vigna* são plantas robustas, arbustivas, prostradas ou escandentes, geralmente glabras. O caule é ramificado, com ramos de até 3m de comprimento, algo volúveis. O sistema radicular é bastante desenvolvido, ocorrendo a presença de bactérias do gênero *Rhizobium*, responsáveis pela assimilação simbiótica de nitrogênio. As folhas são compostas, trifolioladas, longo-pecioladas, com folíolos de formato ovalado, de base cuneada e ápice agudo ou obtuso, todos de tamanho equivalente, com 6-8cm de comprimento; os folíolos laterais apresentam base excêntrica; o folíolo anterior é pouco distanciado, pelo alongamento da raque foliar, sendo os pecíolos guarnecidos por estípulas auriculadas (BEVILAQUA et al., 2007).

O feijão-caupi é uma planta autógama, suas flores apresentam órgãos masculinos e femininos bem protegidos pelas pétalas, apresentando também o fenômeno da cleistogamia (TEÓFILO et al., 1999).

Os frutos são legumes cilíndricos, retos ou curvados, deixando visível a posição interna das sementes. O comprimento depende da cultivar, sendo geralmente de 18-30 cm, mas em certas cultivares pode ser de até 50cm. Com a maturação, os legumes secam e se abrem pelas suturas. As sementes são muito variáveis na forma, tamanho e coloração (dependendo da cultivar). O peso de mil sementes é de 70 gramas, em média (BEVILAQUA et al., 2007).

Segundo Tisot (2002), o desenvolvimento do feijoeiro compreende, basicamente, duas fases distintas e sucessivas, denominadas de fases vegetativa e reprodutiva, diferenciadas entre si pela manifestação de diferentes eventos bioquímicos, morfológicos e biológicos.

O desenvolvimento do feijoeiro é, inicialmente, muito lento, a taxa de crescimento é intensificada somente a partir do vigésimo dia e atinge a taxa máxima dos 55 aos 70 dias. Depois, não mais se desenvolve e começam a prevalecer os fenômenos de translocação (OLIVEIRA; THUNG, 1988).

2.1.2. Origem e distribuição

Análises do gênero *Vigna* quanto à variação morfológica, citogenética, molecular e fitogeográfica situam o feijão-caupi entre as espécies mais primitivas ocorrentes na África, sugerindo que sua evolução e dispersão provavelmente tenham ocorrido a partir deste continente. O gênero *Vigna* por sua vez compreende 170 espécies, das quais 120 ocorrem na África (66 endêmicas), 22 na Índia e sudeste da Ásia (16 endêmicas), havendo poucas espécies descritas para as Américas e a Austrália (GHAFFOR et al., 2001).

O feijão-caupi foi introduzido no Brasil proveniente da Europa e oeste da África por colonizadores europeus e escravos africanos durante os séculos XVI e XVII. As plantações cultivadas tradicionalmente foram selecionadas para determinados caracteres de interesse ao longo dos últimos três séculos (FREIRE-FILHO, 1988). Padulosi et al. (1997) afirmam que provavelmente a região do Transvaal, na república da África do Sul, seja a região de especiação de *V. unguiculata*.

O feijão-caupi é uma leguminosa que tem ampla distribuição mundial e é encontrada principalmente nas regiões tropicais do planeta (MOUSINHO, 2005). Entre todos os países,

os principais produtores mundiais são Nigéria, Niger e Brasil (LANGYINTUO et al., 2003; SINGH et al., 2003).

2.1.3. Importância sócio-econômica

Considerando o aspecto nutritivo, verifica-se a importância da proteína, em termos quantitativos e qualitativos (ANTUNES et al., 1976; CHAVES et al., 1962), pois o feijão-caupi possui um alto teor de proteínas no grão, em média de 23 a 25% (AMARAL et al., 2005), apresentando todos os aminoácidos essenciais, carboidratos, vitaminas e minerais, além de possuir grande quantidade de fibras dietéticas, baixa quantidade de gordura e não conter colesterol (GRANJEIRO et al., 2005). Por isso, é um alimento importante e um componente essencial dos sistemas de produção nas regiões secas dos trópicos, cobrindo parte da Ásia, Estados Unidos, Oriente Médio e América Central e do Sul (SINGH et al., 2002).

Em todo mundo, estimam-se que 11,2 milhões de hectares são cultivados com feijão-caupi, com uma produção anual de grãos de 3,6 milhões de toneladas. Cerca de 64% (8 milhões) dessa produção é oriunda da África Ocidental e Central, onde a produção é consumida por 200 milhões de pessoas (LANGYINTUO et al., 2005). Esta cultura é importante em áreas marginais da África Oriental e do Sul, no Sudão, na Somália, em Moçambique e no sul do Zimbábue (FAO, 1999). Níger e Nigéria são os únicos mercados de exportação importantes de feijão-caupi, destacando-se que a Nigéria é o maior produtor e o maior consumidor de feijão-caupi do mundo, em torno de 300.000 toneladas de feijão-caupi são negociadas todos os anos dentro do Nigerian Cowpea Grainshed – NCG. Destaca-se também a importância do feijão-caupi na América do Sul, América Central, Sul dos Estados Unidos, Ásia, Oceania e Sudeste da Europa (LANGYINTUO et al., 2005).

A produtividade do feijão-caupi sofre variação uma vez que é fortemente dependente da cultivar utilizada, que sofre influências edafoclimáticas. Segundo Singh et al (2002) a produtividade do feijão-caupi em Nigéria, Níger e Brasil foram de 417 kg/ha, 171 kg/ha e 324 kg/ha, respectivamente.

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de feijão-caupi com uma produção que oscila em torno de 491 mil toneladas, com aproximadamente 30 milhões de consumidores (SINGH et al. 2002).

Nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, o cultivo de feijão-caupi é feito, principalmente, em sistema de consórcio pela grande maioria dos pequenos agricultores em cultivo de

subsistência, sendo cultivado para produção de grãos e representa o alimento básico das populações de menor poder aquisitivo, notadamente, nas regiões de clima semi-árido do Nordeste brasileiro (GRANGEIRO et al., 2005; TEIXEIRA et al., 1988). Para a população brasileira o feijão constitui uma importante fonte de proteína, calorias e outros nutrientes para a dieta, podendo ser uma ajuda no combate à subnutrição e à desnutrição dos brasileiros (FAGÉRIA et al., 2006).

Tradicionalmente, é uma cultura de subsistência, cultivada por pequenos e médios agricultores de base familiar, cujo excedente de produção é comercializado em feiras livres como feijão-verde. Contudo, é uma cultura que apresenta baixa produtividade média (300 a 400 kg ha⁻¹), principalmente no Nordeste brasileiro, já que grande parte da produção está ligada a pequenas e médias propriedades, que geralmente utilizam baixo nível tecnológico (FROTA; PEREIRA, 2000). No entanto, a cultura do feijão-caupi tem avançado para áreas mais tecnificadas, utilizando práticas de correção, fertilização e irrigação, em rotação com outras culturas (FREIRE FILHO, et al., 2005).

Nas regiões Norte e Nordeste predomina o uso de cultivares de feijão-caupi tradicionais. Entretanto, entre os maiores produtores destacam-se os Estados do Amazonas, Pará, Maranhão, Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte (MEDEIROS et al., 2007).

No Piauí, o cultivo de feijão-caupi, com área em torno de 200 mil hectares em cultivo de 1ª safra (janeiro a março, até meados de abril), e, 10 mil hectares em cultivo de 2ª safra (entre abril e outubro), gera cerca de 210 mil empregos por ano e uma oferta capaz de alimentar mais de três milhões de pessoas (FREIRE FILHO et al., 2007).

O feijão-caupi destaca-se como espécie bem adaptada às condições de clima e solo do Piauí. Pesquisas evidenciam ou indicam que seu potencial genético para produção ultrapassa a 6 t ha⁻¹ (FREIRE FILHO et al., 2006).

A produtividade média para o Estado Piauí apresenta uma variação de 217,10 a 740,74 kg ha⁻¹, conforme a safra e o tipo de cultivo. A maior produtividade média é para o cultivo misto de segunda safra e a menor para o cultivo associado de primeira safra (IBGE, 2006). Segundo Freire Filho et al. (2007), resultados obtidos em diversas regiões mostram que com a adoção de tecnologia compatível, como a utilização da irrigação, correção do solo e adubação, um hectare de feijão-caupi pode alcançar rendimentos médios superiores a 2.500 kg ha⁻¹.

2.2. Caruncho do feijão-caupi *Callosobruchus maculatus*

2.2.1. Caracterização e biologia

O caruncho do feijão-caupi (*Callosobruchus maculatus*) teve origem na África, onde ainda é a espécie dominante, estando distribuído nas regiões tropicais e subtropicais (DOBIE et al., 1984; HAINES, 1989).

No Nordeste do Brasil, essa praga destaca-se como a principal, pela sua importância devido ao prejuízo que causa ao feijão-caupi (ATHIÉ; DE PAULA, 2002).

A infestação deste bruquídeo começa no campo e continua no armazém, podendo danificar totalmente os grãos após cinco meses (MBATA, 1993). Esta pode ser feita através de ovos, larvas ou adultos, que juntamente com as vagens, grãos ou sacarias, chegam aos armazéns, infestando também os grãos já existentes. Dessa forma, grãos sadios provenientes do campo podem ser infestados nos armazéns quando medidas preventivas de controle não são tomadas (SILVA; CARNEIRO, 2000). Portanto, *Callosobruchus maculatus* apresenta infestação cruzada.

Segundo Campbell (2002), a elevada qualidade das sementes, determinada em parte pelo seu tamanho, pode garantir maior probabilidade de sobrevivência da larva e maior tamanho da prole. Mitchell (1975) e Fox e Mousseau (1995) demonstraram que fêmeas de algumas espécies de bruquídeos preferiram sementes maiores para ovipositar; estudos realizados com uma espécie de curculionídeo mostraram que as fêmeas colocaram mais ovos em grãos de maior biomassa (CAMPBELL, 2002).

No entanto, larvas de muitos bruquídeos não escolhem seus hospedeiros, elas apenas se alimentam, crescem e emergem de sementes selecionadas para oviposição pela fêmea (MITCHELL, 1975). Birch et al. (1989), relatam que a fêmea, antes de ovipositar, examina a superfície do grão com seu ovipositor, dotado de receptores tácteis e quimiorreceptores, que receberá informações da superfície do grão e também de sua umidade e conteúdo químico. Estas informações serão utilizadas na aceitação ou não do grão para a oviposição. Entretanto, quando os ovos são depositados em frutos imaturos, as sementes ainda se encontram em estágio de embrião, o que dificulta a compreensão de como seria feita a avaliação da qualidade da semente pela fêmea (SZENTEZI; JERMY, 1995). Como as larvas dos bruquídeos alimentam-se somente de sementes (SOUTHGATE, 1979), a qualidade destas tem papel importante no desenvolvimento.

As fêmeas de *C. maculatus* colocam seus ovos na superfície da semente. As larvas eclodem após 3-5 dias, furam o tegumento da semente e entram nos cotilédones subjacentes. O desenvolvimento larval e o empupamento ocorrem dentro da semente e os adultos emergem desta. Na emergência, os adultos já são sexualmente maduros e copulam imediatamente, os ovos são colocados logo após a cópula (EDDE; AMATOBI, 2003).

Segundo Howe e Currie (1964) a condição ideal para o rápido desenvolvimento de *C. maculatus* é de 32,5° C e 90% de umidade relativa, sendo então de 23 dias o período médio de desenvolvimento. A 30° C e 70% de umidade relativa o ciclo é de 23,7 dias, a longevidade das fêmeas de 11,8 dias e a produção por fêmea, em média, de 91,2 ovos. De acordo com Gallo et al. (2002) a fase larval é de 14 dias, a fase pupal é de 6 dias e os adultos têm longevidade de 7 a 9 dias.

Insetos adultos de *C. maculatus* são besouros que medem aproximadamente 3 mm de comprimento, apresentando nos élitros manchas amarronzadas que em repouso formam um "X", vivem cerca de 5 a 8 dias, podendo eventualmente sobreviver até 12 dias . As fêmeas põem em média 80 ovos segundo nas superfícies dos grãos (QUINTELA et al., 1991).

2.2.2. Importância econômica

Cerca de 20 espécies pertencentes a seis gêneros de Bruchidae desenvolvem-se em grãos de leguminosas armazenados e consumidos pelo homem (SOUTHGATE 1979). Muitos trabalhos enfocando as interações entre bruquídeos e suas plantas hospedeiras foram realizados nos últimos 35 anos, tais como os efeitos da predação de sementes e as possíveis respostas evolutivas das plantas à predação (JANZEN, 1969, 1971, 1980; CENTER; JOHNSON, 1974), táticas de oviposição em sementes (MITCHELL, 1975), grau de especificidade do predador (JOHNSON, 1981a), comportamento de oviposição (JOHNSON, 1981b; JOHNSON; SIEMENS, 1996) e padrões de oviposição e níveis de predação (RAMOS et al., 2001). Grande parte dos trabalhos relaciona-se aos bruquídeos associados às leguminosas.

Os níveis de perdas de qualidade das sementes durante o armazenamento dependem das condições em que se encontram no início da armazenagem e do controle dos fatores ambientais (SANON et al., 2002).

Os prejuízos causados pelos carunchos em feijoeiro traduzem-se em apreciáveis alterações uma vez que as larvas, ao se alimentarem no interior dos grãos ou sementes,

causam aquecimento da massa de grãos, tipo de grãos, redução na qualidade e no valor comercial do produto (SOUSA et al., 2005). A redução da qualidade dos grãos durante o armazenamento está associada, principalmente, ao grau de infestação dos grãos e às condições ambientais em que encontra a massa de grãos (FARONI; SOUSA, 2006). Quando não controlados, os insetos podem danificar os grãos e reduzir sua quantidade de reservas nutritivas (PACHECO; PAULA, 1995). Estes efeitos são tão maiores, quanto mais favoráveis forem as condições do meio, o tamanho da população e a permanência dos insetos na massa de sementes (TOLEDO; MARCOS FILHO, 1977, GALLO et al.1988). Além disso, os insetos podem promover danos indiretos através da elevação da umidade e da temperatura da massa de grãos, tornando as condições favoráveis à entrada e ao desenvolvimento de fungos (VIEIRA et al., 1993) e desvalorização comercial pela presença de excrementos, ovos e insetos (ALMEIDA et al., 2005), bem como prejudicam a germinação das sementes (ATHIÉ; DE PAULA, 2002).

Quantidades substanciais de caupi são produzidas no semiárido nordestino do Brasil, porém, antes da colheita ou durante o armazenamento, as sementes são vulneráveis à infestação por muitos insetos praga, constituindo o problema principal na disponibilidade do alimento. Nesta região, 90% dos danos de insetos às sementes de caupi são causados pelo caruncho do caupi *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae). Certamente, a infestação de *C. maculatus* em grãos armazenadas pode alcançar 50% dentro de 3 a 4 meses de armazenamento (PASCUAL-VILLALOBO; BALLESTA-ACOSTA, 2003).

Danos de *C. maculatus* de 5 e 100% em grãos provocaram desvalorização comercial de 53,3% e 81,27%, respectivamente (BASTOS, 1973). Sementes com um, dois, três e quatro furos tiveram a germinação reduzida em 18,3; 51,7; 66,7 e 100%, respectivamente (SANTOS; VIEIRA, 1971). Este caruncho pode ocasionar perda de peso da ordem de 60% em sementes armazenadas (TANZUBIL, 1991), chegando a atingir, em seis meses de armazenamento, 90% de perdas em termos de sementes perfuradas (SECK et al., 1991). Os prejuízos causados aos produtores e comerciantes restringem a possibilidade de estocagem do produto por períodos mais prolongados (RAJAPAKSE; VAN EMDEN, 1997).

2.3. Armazenamento de grãos e controle de insetos através de irradiação

O produto armazenado tem alto valor comercial, por isso, as perdas que possam ocorrer, representam, em última análise, prejuízos para toda a sociedade. Deve-se, portanto, dar a

devida atenção a esta importante fase do processo produtivo, de maneira a garantir a qualidade e minimizar as perdas (PEREIRA, 1993). Além do esforço para o aumento da produção, necessariamente, há de se incrementar as condições de acompanhamento do armazenamento dos grãos. Uma característica positiva da maioria dos grãos é o fato de apresentarem o fenômeno de dormência, de poderem ser armazenados por períodos longos, sem perdas significativas na qualidade. Entretanto, o armazenamento prolongado só pode ser realizado quando se adotam corretamente as práticas de colheita, limpeza, secagem e combate a insetos e fungos (LORINI, 1994).

A ocorrência de pragas é um dos fatores limitantes da cultura do feijoeiro, exigindo constantes medidas de controle a fim de evitar o dano econômico. O feijoeiro pode ser atacado por insetos em todos os estádios, desde a semeadura, passando pelas fases vegetativa e reprodutiva, até a pós-colheita, quando pragas atacam os grãos armazenados, podendo causar prejuízos significativos. Ocorrem perdas de grãos de feijão a cada colheita devido, entre outros fatores, ao ataque de insetos e roedores, além de alterações físico-químicas, por transformações estruturais de seus componentes, resultando em feijões que apresentam elevada resistência à cocção, com modificações das propriedades organolépticas e nutricionais (MANCINI-FILHO, 1990; VILLAVICENCIO, 1998).

Há uma necessidade de reduzir os impactos negativos dos métodos de controle de pragas ao ambiente. O interesse sobre os efeitos potenciais dos inseticidas na saúde, na redução da terra arável per capita, e na evolução dos complexos de pragas, os quais provavelmente são acelerados por mudanças climáticas contribuem para a mudança em práticas de proteção às plantas (NOVARTIS, 1997). Os inseticidas são ainda amplamente utilizados; entretanto, mais de 540 espécies de insetos são resistentes aos inseticidas sintéticos (METCALF; LUCKMANN, 1994). Outros inconvenientes provocados pelos inseticidas sintéticos incluem a ressurgência e as manifestações de pragas secundárias e de efeitos prejudiciais aos organismos não alvo (PANNETON et al., 2001). Esta situação cria uma demanda para métodos de controle alternativos, incluindo controles físicos.

O controle de populações de pragas de grãos armazenados é feito, comumente, utilizando-se medidas de higienização, bem como aplicações preventivas com inseticidas organofosforados e piretróides, e curativas com o fumigante fosfina (BENHALIMA et al., 2004). Entretanto, o uso inadequado pode causar demandas na reaplicação, resultando no aumento dos custos da produção, perdas de produtos devido ao controle ineficiente, contaminação dos alimentos e agricultores (ATHIÉ; DE PAULA, 2002), pois os resíduos podem causar problemas de saúde porque são neurotoxinas convencionais que afetam o

sistema nervoso humano (ATHANASSIOU et al., 2009). Nas pesquisas atuais, o aumento no conhecimento dos prejuízos advindos do uso indiscriminado desses produtos, e a preocupação dos consumidores quanto à qualidade dos alimentos têm incentivado estudos relacionados a novas técnicas de controle de pragas (TAVARES; VENDRAMIM, 2005).

O processo de irradiação dos feijões é uma alternativa mais atrativa e saudável, quando comparada aos tratamentos químicos. Este processo, tendo o propósito de preservar e desinfestar grãos, surge como prática promissora, utilizada para estender a vida útil e reduzir as perdas das safras durante a armazenagem do produto. (NASCIMENTO, 1992; VILLAVICENCIO, 1998).

O controle de diversas pragas de produtos armazenados é feito principalmente através de agentes químicos e também com a utilização de radiação gama, raios X e elétrons acelerados. O problema do uso de radiação para o controle de infestação está no fato de não deixar resíduos que podem combater as possíveis reinfestações, além disso, essas duas metodologias quase nunca atingem 100% de controle (ARTHUR, 1997).

Em países altamente industrializados o problema com insetos é menos significativo, uma vez que as técnicas de armazenamento são bem avançadas. Países produtores e exportadores de grandes quantidades de cereais têm que arcar com os custos de armazenamento e levar em consideração as exigências de importação de cada país, considerando a qualidade e os métodos de desinfestação (CORNWELL, 1966; WATTERS, 1968; COGBURN ET AL., 1972). Portanto, nestes países, o método de desinfestação de insetos através de irradiação torna-se uma alternativa de controle viável.

A eficácia da desinfestação pela radiação tornou-se uma alternativa real em comparação a outros métodos de tratamentos quarentenários, como a fumigação química. A radiação apresenta total eficiência, custos competitivos, isenção de resíduo pós-tratamento com manutenção da qualidade (POTENZA, 1999).

CORNWELL (1966), WATTERS (1968) e COGBURN et al. (1972) estudaram a utilização da irradiação como alternativa para a desinfestação de grãos e derivados e comprovaram a sua eficácia. A eficiência dos tratamentos com a irradiação depende de fatores intrínsecos como idade, sexo e estágio de desenvolvimento de cada inseto, e de fatores extrínsecos como temperatura, tipo de alimento, tipo de radiação, dose e pressão de oxigênio (CORWELL, 1966; JEFFERIE; BANHAN, 1966).

A radiação pode ser também utilizada para esterilizar insetos, citando-se as seguintes vantagens de uso: o aumento de temperatura durante o processo é insignificante, os insetos

estéreis podem ser liberados imediatamente após terem sido tratados, a irradiação não deixa resíduos nocivos (BAKRI et al., 2005).

Quando irradiamos os alimentos, estamos submetendo-os a doses minuciosamente controladas de uma radiação particular, a radiação ionizante. A irradiação não causa prejuízos ao alimento no que diz respeito à formação de novos compostos químicos que poderiam transmitir doenças ao ser humano quando da sua ingestão. Porém, como em todo processo de conservação, podem existir perdas de ordem nutricional e organoléptica como a cor, o sabor, a textura e o odor (CENA, 2009).

As normas para irradiação de alimentos foram determinadas pela Resolução RDC nº 21 de 26/01/2001 que aprovou o "Regulamento Técnico para a Irradiação de Alimentos", permitindo a irradiação de qualquer alimento, com a condição de que a dose máxima absorvida seja inferior àquela que comprometa as propriedades funcionais e/ou os atributos sensoriais do alimento e que a dose mínima absorvida seja suficiente para alcançar o objetivo pretendido (BRASIL, 2001).

2.3.1. Radiação microondas

O desenvolvimento da tecnologia de microondas ocorreu principalmente durante a II Guerra Mundial. Os fornos de microondas começaram a ser utilizados para aquecimento de alimentos na década de 50, e, a partir dos anos 80, esse tipo de energia passou a ser utilizado em laboratórios de química (KINGSTON; JASSIE, 1988).

Os microondas são equipamentos conhecidos pela maioria dos estudantes, mas os conceitos químicos envolvidos em seu funcionamento e o grande número de aplicações que esses equipamentos têm não são tão disseminados (ROSINI et al., 2004).

A radiação microondas é um tipo de energia eletromagnética com frequência na faixa de 103 a 104 MHz (KINGSTON; JASSIE, 1988). Os princípios envolvidos no aquecimento por microondas englobam conceitos químicos e físicos, tais como temperatura, ligação química, estrutura molecular, momento de dipolo, polarização, capacidade calorífica e constante dielétrica (WATKINS, 1983). Essa radiação não ionizante causa migração de íons e rotação de dipolos, mas não causa mudanças na estrutura molecular (KINGSTON; JASSIE, 1988).

O aquecimento de um material por irradiação com microondas se dá devido à interação da onda eletromagnética com o dipolo elétrico da molécula. Um importante atributo

do aquecimento por microondas é a absorção direta da energia pelo material a ser aquecido. Desta forma, o aquecimento por microondas é seletivo e dependerá, principalmente, da constante dielétrica e da frequência de relaxação do material (BARBOZA et al., 2001).

Para entender simplificadaamente o aquecimento de uma substância no forno de microondas, pode-se fazer uma analogia ao que acontece quando as moléculas são submetidas à ação de um campo elétrico. Quando esse é aplicado, as moléculas que possuem momento de dipolo elétrico, ou que podem ter momentos dipolares induzidos, tendem a se alinhar com o campo e, quando o campo elétrico é removido, ocorrerá uma relaxação dielétrica, ou seja, as moléculas tenderão a retornar ao seu estado não alinhado, dissipando a energia absorvida na forma de calor (BARBOZA et al., 2001).

A princípio, quanto maior for o dipolo elétrico, mais intensa deve ser a orientação molecular sob a ação do campo elétrico. Se um material possui um valor maior de constante dielétrica, a princípio, maior quantidade de energia pode ser armazenada. Em um campo de fases alternadas, como é o caso de uma onda eletromagnética, a orientação molecular varia ciclicamente, sendo que para um forno de microondas com frequência de 2450 MHz, que é a frequência adotada em fornos domésticos e laboratoriais, ocorrem 109 orientações/s. (WATKINS, 1983).

Um forno de microondas típico para uso em laboratório possui seis componentes principais: o gerador de microondas (chamado magnetron), o guia de ondas, a cavidade do forno, o espalhador de ondas, um sistema de ventilação e um rotor. Os fornos de microondas domésticos não possuem o sistema de ventilação e o rotor. Devido ao alto custo dos equipamentos desenvolvidos para aplicações laboratoriais, freqüentemente são empregados fornos de microondas domésticos. Esses equipamentos não possuem uma distribuição uniforme da radiação microondas, pois não foram projetados para tal finalidade. Eles produzem interferência entre as microondas e, com isso, algumas partes do forno recebem maior incidência de ondas que outras (BARBOZA et al.2001).

2.3.2. Uso da radiação microondas no controle de insetos

Um dos principais problemas na produção, armazenamento e comercialização de diversos produtos é a infestação de insetos. Atuais e potenciais tratamentos de quarentena tanto nacionais como internacionais, incluem as fumigações químicas, radiações ionizantes, atmosfera controlada, tratamento a frio, ar quente convencional ou aquecimento de água, além

de aquecimento dielétrico usando radiofrequência (RF) e microondas (MW) (WANG; TANG, 2001).

A utilização da energia de microondas para controlar insetos foi iniciado por Webber et al. (1946); apesar de não ser uma técnica nova para o controle de insetos-praga, o uso dessa tecnologia é bastante carente de pesquisas, sendo, portanto, de fundamental importância a continuidade de estudos relacionados a esse método de controle. Segundo Shayesteh e Barthakur (1996), o uso de radiação microondas em insetos-praga é bastante eficiente para aumentar a mortalidade dos insetos, fazendo assim o seu controle, além de não provocar efeitos prejudiciais ao ambiente.

De acordo com Nelson (1996) a radiação de microondas tem efeitos deletérios sobre os insetos, como a redução da taxa de reprodução, perda de peso corporal e malformação.

São citados a seguir alguns trabalhos com utilização de radiação microondas para o controle de insetos:

Hirose et al. (1975) usando microondas para controlar o besouro do cigarro (*Lasioderma serricorne*) e a traça do tabaco (*Ephestia elutella*) conseguiram 100% de mortalidade dos insetos no tabaco, quando a temperatura foi elevada de 20 a 57 °C. Estes autores concluíram que o besouro apresentou maior resistência que a traça.

Watters (1976) estudando a susceptibilidade de *Tribolium confusum* à energia de microondas, usando uma fonte com 8,5 GHz de frequência e 30 W de potência, observou que a susceptibilidade dos estágios do inseto à radiação microondas a 60 °C foi ovos > pupas > adultos > larvas, concluindo que a sobrevivência de pupas perto da superfície do trigo indicou que o calor não foi distribuído de maneira uniforme.

Hurlock et al. (1979) usando microondas de 896 MHz de frequência, com 800 W de potência, observaram um controle de apenas 30% para as espécies *Oryzaephilus surinamensis*, *Tribolium castaneum* e *Sitophilus granarius* em feijão. Já a mortalidade de *Ephestia cautella* foi de 80%.

D'Ambrosio (1982) mostrou que a exposição de larvas de *Sitophilus oryzae* a 2450 MHz durante 10 segundos suprimiu o aparecimento dos adultos e causou aumento de 30°C no macarrão, sem alterar suas características organolépticas.

De acordo com Bedi e Major (1992) quando larvas de *Corcyra cephalonica*, adultos de *Callosobruchus chinensis* e *Rhyzopertha dominica* foram expostos à microondas de 12-18 GHz por 2, 5 ou 10 minutos, a mortalidade variou de 0 a 54%, aumentando com o tempo de exposição e frequência. Os efeitos do tempo de exposição e frequência foram significativos

para *C. chinensis* e *R. dominica*, enquanto a frequência só foi significativa para *Corcyra cephalonica*.

Halverson et al. (1996), estudando a mortalidade de insetos praga de grãos armazenados, usando uma fonte de microondas de alta potência a uma frequência de 10,6 GHz a níveis de potência de 9-20 kW para irradiar amostras de trigo infestadas com *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum*, concluíram que uma mortalidade média igual ou superior a 93% ocorreu para todas as idades de *S. zeamais* e uma mortalidade maior ou igual a 94% ocorreu para adultos e larvas de *T. castaneum*.

Shayesteh e Barthakur (1996) avaliaram a mortalidade de diferentes estágios de desenvolvimento de duas espécies de insetos de produtos armazenados (*Tribolium confusum* e *Plodia interpunctella*) em função do tempo de exposição à radiação microondas (2450 MHz), concluíram que exposições intermitentes em intervalos de 1 ou 5 minutos foram geralmente mais eficazes para matar insetos de ambas as espécies do que a irradiação contínua.

Plarre et al. (1997) estudaram os efeitos da irradiação de microondas em *Sitophilus zeamais* em diferentes frequências (12, 15, 17 e 55 GHz) e concluíram que 15 GHz efetuou maior controle entre adultos, porém 55GHz mostrou um melhor controle em todas as fases de desenvolvimento estudadas.

Ikediala et al. (1999) trataram cerejas com microondas a 915 MHz de frequência para determinar as características de aquecimento e o efeito dos tratamentos sobre insetos de *Cydia pomonella*, conseguindo uma mortalidade de larvas em terceiro ínstar de até 98% com dois dias de armazenamento a frio após o tratamento com microondas.

Warchalewski et al. (2000) trataram grãos de trigo com diferentes doses de radiação gama e microondas em *Sitophilus granarius*, *Tribolium confusum* e *Ephestia kuehniella*. Os tratamentos com microondas (15-180 s) resultaram em mudanças na umidade, teor de proteína solúvel, mortalidade, intensidade de alimentação, fertilidade dos adultos, número de descendentes e tempo de desenvolvimento das larvas de *Sitophilus Granarius*. Além disso, a radiação microondas encurtou significativamente o tempo de desenvolvimento das larvas de *Tribolium confusum* e *Ephestia kuehniella*.

Franco (2001) avaliou os efeitos da radiação microondas nas diversas fases do ciclo evolutivo do caruncho do arroz (*S. oryzae*) e determinou o tempo de exposição necessário para o controle de cada uma das fases do ciclo evolutivo do inseto, concluindo que as fases imaturas larva e pupa são mais sensíveis, necessitando de apenas 100 segundos para obtenção de 100% de controle, enquanto que a fase de ovo necessita de um tempo de exposição maior

(130 segundos) e para a fase adulta, o tempo de exposição necessário para atingir a dose letal foi de 160 segundos.

Zhao et al. (2007) estudando um modelo letal para *Sitophilus oryzae*, observou que adultos e ovos deste gorgulho sofreram 100% de mortalidade quando a temperatura final do arroz foi superior a 55 °C, enquanto o consumo de energia correspondente do microondas foi superior 0,017kWh/kg.

Vadivambal et al. (2007) utilizaram microondas a 2,45 GHz de frequência para determinar a mortalidade das três espécies comuns de insetos de grãos armazenados, *Tribolium castaneum*, *Cryptolestes ferrugineus* e *Sitophilus oryzae*, usando amostras de trigo em 14%,16% e 18% de umidade, sendo expostas a microondas em quatro diferentes níveis de potência 250, 300, 400 e 500W. Conseguiram 100% de mortalidade para as três espécies com 500 W de potência e um tempo de exposição de 28 s.

Vadivambal et al. (2008) determinaram a mortalidade dos estágios de vida (ovo, larva, pupa e adulto) de *Tribolium castaneum* em amostras de cevada com teor de umidade de 14, 16 e 18%, utilizando radiação microondas com uma frequência de 2450 MHz e níveis de potência de 0, 200, 300, 400 e 500 W. Observaram que a um nível de potência de 400 W e um tempo de exposição de 56 s ou 500 W e 28 s, a fase de ovo foi mais sensível à energia de microondas e os adultos foram menos suscetíveis e não houve diferença significativa na mortalidade de larvas e adultos, mas sim entre ovos e pupas, concluindo que houve um significativo aumento na mortalidade com o aumento do nível de potência ou tempo de exposição ou de ambos.

Valizadegan et al. (2009) avaliaram o efeito da radiação de microondas e armazenamento a frio contra adultos do caruncho *Oryzaephilus surinamensis* (L.) ao longo de vários tempos de exposição e períodos de armazenamento a frio, sendo os insetos expostos a 2450 MHz em cinco níveis de potência diferentes: 0, 100, 200, 300 e 400 W e cinco tempos de exposição de 0, 3, 6, 9 e 12 min e concluíram que a mortalidade total foi alcançada a um nível de potência de 400 W, tempo de exposição de 12 min e 72 h como período de armazenamento a frio.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, I.P. de; DUARTE, M.E.M.; RANGEL, M.E.; MATA, M.C.; FREIRE, R.M.M.; GUEDES, M.A. Armazenamento de feijão macassar tratado com mamona: Estudo da prevenção do *Callosobruchus maculatus* e das alterações nutricionais do grão. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.7, n.2, p.133-140, 2005.

AMARAL, J.A.B; BELTRÃO, N.E.M.; SILVA, M.T. **Zoneamento Agrícola do Feijão-Caupi no Nordeste Brasileiro Safra 2005/2006 - Estado da Paraíba**.2005. (Comunicado Técnico 253, Campina Grande, PB).

ANTUNES, N.L.; LAGO, E.S.; BION, F.B.; NASCIMENTO, J.S.; ARAÚJO, T.M.; FREITAS, L.P.C.G.; PONTES, D.C.N. Valor nutritivo do feijão macassar (*Vigna unguiculata* L. Walp.). **Revista Brasileira de Pesquisas Médicas e Biológicas**, v.9, n.5-6, p-293-296, 1976.

ARTHUR, V. Controle de insetos-pragas por radiações ionizantes. **Biológico**. São Paulo, v.59, n.1, p.77-79, 1997.

ATHANASSIOU, C.G.; ARTHUR, F.H.; THRONE, J.E. Efficacy of spinosad in layer-treated wheat against five stored-product insect species. **Journal of Stored Roducts Research**, v.45, n.4, p.236-240, 2009.

ATHIÉ, I.; DE PAULA, D.C. **Insetos de grãos armazenados: aspectos biológicos e identificação**. 2 ed., São Paulo: Livraria Varela, 2002, 244p.

BAKRI, A.; MEHTA, K.; LANCE, D.R. Sterilizing insects with ionizing radiation. In: DYCK, V.A.; HENDRICH, J.; ROBINSON, A. S. (Ed.). **Sterile insect technique: principles and practice in area-wide integrated pest management**. Springer, 2005. p. 233-269.

BARBOZA, A.C. R.N.; CRUZ, C.V.M.S.; GRAZIANI, M.B.; LORENZETTI, M.C.F.; SABADINI, E. Aquecimento em forno de microondas / desenvolvimento de alguns conceitos fundamentais. **Química Nova**, v.24, n.6, p.901-904, 2001.

BASTOS, J.A.M. Avaliação dos prejuízos causados pelo gorgulho *Callosobruchus maculatus* em amostras de feijão-de-corda, *Vigna sinensis*, colhidas em Fortaleza, Ceará. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.8, n.7, p.131-132, 1973.

BEDI, S.S.; MAJOR, S. Microwaves for control of stored grain insects. **National Academy Science Letters**, v.15, n. 6, p.195-197, 1992.

BENHALIMA, H.; CHAUDHRY, M.Q.; MILLS, K.A.; PRICE, N.R. Phosphine resistance in stored-product insects collected from various grain storage facilities in Morocco. **Journal of Stored Products Research**, v.40, n.3, p.241-249, 2004.

BEVILAQUA, G.A.P.; GALHO, A.M.; ANTUNES, I.F.; MARQUES, R.L.L.; MAIA, M. de S. **Manejo de sistemas de produção de sementes e forragem de feijão-miúdo para a agricultura familiar**. Pelotas: Embrapa- CPACT, 2007. 24p. (Embrapa- CPACT, Documentos, 204).

BIRCH, A.N.E.; SIMMONDS, M.S.J.; BLANEY, W.M. Chemical interactions between bruchids and legumes. In: Stirton, C. H. & Zarucchi, J. L. (eds.). **Advances in Legume Biology. Monographs in Systematic Botany**. Missouri Botanical Garden, Missouri, USA, 1989. p. 781-809.

BRASIL. Resolução RDC n.21, de 26 de jan. 2001. **Diário Oficial da União**, Brasília, n.20-E, 29 de janeiro de 2001. Seção 1, p.35. Agência Nacional de Vigilância Sanitária aprova o Regulamento Técnico para Irradiação de Alimentos.

CAMPBELL, J.F. Influence of seed size on exploitation by the rice weevil, *Sitophilus oryzae*. **Journal of Insect Behavior**, v.15, n.3, p.429-445. 2002.

CENA. Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Desenvolvido pela USP CENA/PCLQ, 2002-2006. **Apresenta textos sobre a divulgação da tecnologia de irradiação de alimentos e outros materiais**. Disponível em <<http://www.cena.usp.br/irradiacao/index.asp>>. Acesso em 20 ago. 2009.

CENTER, T.D.; JOHNSON, C.D. Coevolution of some seedbeetles (Coleoptera: Bruchidae) and their hosts. **Ecology**, v.55, n.5, p.1096-1103. 1974.

CHAVES, N.; BARROS, M.M.R.; MADRUGA, I.; LAPA, M.A.G.; FREITAS, C.P.; LIMA, J.A.L.; COSTA, L.P.; Valor nutritivo da associação de proteínas do feijão macacará (*Vigna sinensis*) e da castanha de caju (*Anacardium occidentale* L.). **Revista Brasileira de Medicina I**, v.17, n.7, p.385-395, 1962.

COGBURN, R.R.; TILTON, E.W.; BROWER, J.H. Bulk-grain gamma irradiation for control of insects infecting wheat. **Journal of Economic Entomology**, v.63, n.3, p.818-821, 1972.

CORWELL, P.B. The entomology of radiation desinfestation of grain. In:URBAIN, W.M. **Food irradiation**. Orlando: Academic Press Inc., 1986. cap.1, p.52-55, 74-78.

D'AMBROSIO, G.; FERRARA, G.; TRANFAGLIA, A. Desinfestation of food commodities with microwaves: experiments with *Tenebrio molitor* (L.) (Coleoptera, Tenebrionidae) and *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera, Curculionidae) [Control of stored food pests'. **Bollettino del Laboratorio di Entomologia Agraria**. Napoli: Instituto di Entomologia Agraria, v. 39, p.31-36, 1982.

DOBIE, P.; HAINES, C.P.; HODGES, R.J.; PREVETT, P.F. **Insects and arachnids of tropical stored products, their biology and identification: a training manual**. UK, Tropical Development and Research Institute, 1984. 273p.

EDDE, P.A.; AMATOBI, C.I. Seed coat has no value in protecting cowpea seed against attack by *Callosobruchus maculatus* (F.). **Journal of Stored Products Research**, v.39, n.1. p.1-10, 2003.

FAGÉRIA, N.K.; SILVA, O.F.; SILVEIRA, P.M.; STRALIOTTO, R.; SILVA, S.C.; STEINMETZ, S.; COBUCCI, T. **Cultivo do feijoeiro comum**. Embrapa Arroz e Feijão. Disponível em [http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/Cultivo do Feijoeiro / importancia.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/Cultivo%20do%20Feijoeiro/importancia.htm)> acesso em 01 de mai. 2006.

FAO. **Faostat Agriculture**, 1999. Disponível em <http://faostat.fao.org/faostat/>.acesso em 19 de jan. 2009.

FARONI, L.R.A.; SOUSA, A.H. Aspectos biológicos e taxonômicos dos principais insetos-praga de produtos armazenados. In: ALMEIDA, F.A.C.; DUARTE, M.E.M.; MATA, M. E. R.M.C. **Tecnologia de Armazenagem em sementes**, Campina Grande: UFCG, 2006. p.371-402.

FOX, C.W.; MOUSSEAU, T.A. Determinants of clutch size and seed preference in a seed beetle, *Stator beali* (Coleoptera: Bruchidae). **Environmental Entomology**, v.24, n.6, p.1557-1561, 1995.

FRANCO, J.G. **Efeitos da radiação microondas nas diferentes fases do ciclo evolutivo de *Sitophilus oryzae* (Linné, 1763) Coleoptera, Curculionidae em arroz, visando o seu controle**. 2001. 45p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

FREIRE FILHO, F.R.; LIMA, J.A.A.; VIANA, F.M.P.; RIBEIRO, V.Q. **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2005. 640 p.

FREIRE FILHO, F.R.; RIBEIRO, V.Q.; BARRETO, P.D.; SANTOS, C.A.F. **Melhoramento genético de caupi** [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] na região do Nordeste. p. 1- 34. Disponível em: < HTTP://www.cpatsa.embrapa.br>. Acesso em: 10 jan. 2006.

FREIRE FILHO, F.R.; BENVINDO, R.N.; ALMEIDA, A.L.G.; OLIVEIRA, J.T.S.; PORTELA, G.L.F. **Caracterização de pólos de produção da cultura de feijão-caupi no estado o Piauí**. Embrapa Meio Norte, 2007, 28p. (Documento, 100)

FREIRE FILHO, F.R. Cowpea taxonomy and introduction to Brazil. In: **Watt EE and Araújo JPP de (eds) Cowpea research in Brazil**. IITA, EMBRAPA, Brasília, 1988. p.3-10.

FREITAS, J.B.S. **Mecanismos de resposta fisiológica ao estresse salino em duas cultivares contrastantes de feijão-caupi**. 2006. 134p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

FROTA, A.B.; PEREIRA, P.R. Caracterização da produção de feijão caupi na região Meio-Norte do Brasil. In: CARDOSO, M.J. (Org.). **A cultura do feijão caupi no Meio-Norte do Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2000. cap. 1, p.9-45.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. P. L.; BATISTA, G.C. DE; PARRA, J. R. P.; BERTI FILHO, E.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMINI, J. **Manual de entomologia agrícola**. São Paulo, Agronômica Ceres, 1988. 649p.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R.P L.; BATISTA, G.C. DE; PARRA, J.R.P.; BERTI FILHO, E.; ZUCCHI, R.A.; ALVES, S.B.; VENDRAMINI, J. D.; MARCHINI, L.C.; LOPES, J.R.S.; OMOTO, C. **Entomologia agrícola**. FEALQ: São Paulo, 2002. 450p.

GHAFOOR, A.; SHARIF, A.; AHMAD, Z.; ZAHID, M.A.; RABBANI, M.A. Genetic diversity in blackgram (*Vigna mungo* L. Hepper). **Field Crops Research**, n.69, p.183-190, 2001.

GRANJEIRO, T.B.; CASTELLÓN, R.E.R.; ARAÚJO, F.M.M. C.; SILVA, S.M.S; FREIRE, E.A.; CAJAZEIRAS, J.B.; ANDRADE NETO, M.; GRANJEIRO, M.B.; CAVADA, B.S. Composição bioquímica da semente. In: FREIRE FILHO, F.R.; LIMA, J.A. de A.; RIBEIRO, V.Q. (Org). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p.339 - 365.

HAINES, C.P. Observation on *Callosobruchus analis* (F.). In Indonesia, including a key to storage *Callosobruchus* spp. (Col.: Bruchidae). **Journal of Stored Products Research**, v.25, n.1, p.9-16, 1989.

HALVERSON, S.L., BURKHOLDER, W.E., BIGELOW, T.S., NORDHEIM, E.V., MISENHEIMER, M.E. High-power microwave radiation as an alternative insect control method for stored products. **Journal of Economic Entomology**, v.89, n.6, p.1638-1648, 1996.

HIROSE, T.; ABE, I.; KOHNO, M.; SUZUKI, T.; OSHIMA, K.; OKAKURA, T. The use of microwave heating to control insects in cigarette manufacture. Central Research Institute, Japan Tobacco and Salt Public Corporation, Japan. **Journal of Microwave Power**, v.10, n.2, p. 181-90, 1975.

HOWE, R.W.; CURRIE, J.E. Some laboratory observation on the rates of development, mortality and oviposition of several species of Bruchidae breeding in stored pulses. *Bulletin of Entomological research*, v.55, p.437-477, 1964.

HURLOCK, E.T.; LLEWELLING, B.E.; STABLES, L.M. Microwaves can kill insect pests. Agricultural Science Service, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, UK. **Food Manufacture**, v.54, n8, p.37-39, 1979.

IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA) – 1997 - 2006. 2006. Disponível em <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabelas>>. Acesso em: 20 dez. 2006.

IKEDIALA, J.N., TANG, J., NEVEN, L.G., DRAKE, S.R. Quarantine treatment of cherries using 915MHz microwave: temperature mapping, codling moth mortality and fruit quality. **Postharvest Biology and Technology**, v.16, n.2, p.127-137, 1999.

JANZEN, D.H. Escape of *Cassia grandis* L. beans from predators in time and space. **Ecology**, v.52, n.6, p.964-979, 1971.

JANZEN, D.H. Seed-eaters versus seed size, number, toxicity and dispersal. **Evolution**, v.23, n.1, p.1-27, 1969.

JANZEN, D.H. Specificity of seed-attacking beetles in a Costa Rica deciduous forest. **Journal of Ecology**, v.68, n.3, p.929-952, 1980.

JEFFERIES, D.J.; BANHAN, E.J. The effect of dose rate on the responses of *Tribolium confusum* Duv., *Oryzaephilus surinamensis* L. and *Sithophilus granarius* L. to "Co gama irradiation". In: CORNWELL, P.B. **Entomology of radiation desinfestation of grain**. Oxford: Pergamon Press, 1966. cap.4, p.178-186.

JOHNSON, C.D.; SIEMENS, D.H. Oviposition behavior, guildsand new host records for the genus *Mimosetes* Bridwell (Coleoptera: Bruchidae) from Colombia, Ecuador, Venezuela and Mexico. **The Coleopterists Bulletin**, v.50, n.2, p.155-160, 1996.

JOHNSON, C.D. Seed beetle host specificity and the systematics of the Leguminosae. In: POLHILL, R.M.; RAVEN, P.H. (eds). **Advances in Legume Systematics**, Part 2. Royal Botanic Gardens, Kew, England, p. 995-1027, 1981a.

JOHNSON, C.D. Interactions between bruchid (Coleoptera) feeding guilds and behavioral patterns of pods of the Leguminosae. **Environmental Entomology**, v.10, n.2, p.249-253, 1981b.

KINGSTON, H.M.; JASSIE, L.B., eds. **Introduction to Microwave Sample Preparation**, ACS: Washington, 1988.

LANGYINTUO, A.S.; LOWENBERG-DEBOER, J.; FAYE, M.; LAMBERT, D.; IBRO, G.; MOUSSA, B.; KERGA, A.; KUSHWAHA, S.; MUSA, S; NTOUKAM, G. Cowpea supply and demand in west and central Africa. **Field Crops Research**, v.82, n.2-3, p. 215-231, 2003.

LANGYINTUO. A.S.; DeBOER, J.L.; ARNDT, C. **Potential Impacts of the Proposed West African Monetary Zone on Cowpea Trade in West and Central Africa** .Purdue University, Department of Agricultural Economics, 403 W State Street, West Lafayette, IN 47907-2056, U.S.A. Paper prepared for presentation at the American Agricultural Economics Association Annual Meeting, Montreal, Canada, July 27-30, 2005.

LORINI, I. Avaliação do produto INSECTO no controle de pragas de trigo armazenado. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE TRIGO, 17, Passo Fundo, 1994. **Resumos**. Passo Fundo: EMBRAPA -CNPT, 1994. 20p.

MANCINI-FILHO, J. **Efeitos das radiações gama sobre algumas características físico-químicas e nutricionais de feijões (*Phaseolus vulgaris* L.) armazenados**. 1990. 100p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MARÉCHAL R.; MACHERPA J.M.; STAINER, F. Étude taxonomique d'un groupe complexe d'espèces de genres *Phaseolus* et *Vigna* (Papilionaceae) sur la base dès données morphologiques et polliniques, traitées par l'analyse informatique. **Boissiera**, n.28, p.1-273, 1978.

MBATA, G.N. Evaluation of susceptibility of varieties of cowpea to *Callosobruchus maculatus* (F.) and *Callosobruchus subinnotatus* (Pic.) (Coleoptera: Bruchidae). **Journal of Stored Products Research**, v.29, p.207-213, 1993.

MEDEIROS, D.C.; ANDRADE NETO, R.C.; FIGUEIRA, L.K.; NERY, D.K.P. Pó de folhas secas e verdes de nim sobre a qualidade das sementes de feijão caupi. **Revista Caatinga**, v.20, n.2, p. 94-99, 2007.

MELO, F. de B.; CARDOSO, M.J. Fertilidade, correção e adubação do solo. In: CARDOSO, M.J. (Org.). **A cultura do feijão caupi no Meio-Norte do Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2000. cap. 4, p.91-103.

METCALF, R.L.; LUCKMANN, W.H. **Introduction to Insect Pest Management**. 3 ed. New York: Wiley. 1994. 650 p.

MITCHELL, R. The evolution of oviposition tactics in the bean weevil, *Callosobruchus maculatus* (F.). **Ecology**, v.56, n.3, p.696-702, 1975.

MOUSINHO, F.E.P. **Viabilidade econômica da irrigação do feijão caupi no Estado do Piauí**. 2005. 103p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

NASCIMENTO, L.M. **Efeito da radiação gama (Co) nas propriedades físico-químicas e sensoriais de feijões envelhecidos (*Phaseolus vulgaris*)**. 1992. 135p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade São Paulo, São Paulo.

NELSON, S.O. Review and assessment of radio-frequency and microwave energy for stored-grain insect control. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v.39, n.4, p.1475-1484, 1996.

NOVARTIS. **Le Livre vert du Maïs Cb**. St-Sauveur, France: Novartis Seeds. 1997. 109 p.
OLIVEIRA, I.P.; THUNG, M.D.T. Nutrição mineral. In: ZIMMERMANN, M.J.O. (Org.) **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa do Patássio e do Fosfato, 1988. p.175-212.

PACHECO, I.A.; PAULA, D.C. **Insetos de grãos armazenados - identificação e biologia**, Campinas: Fundação Cargil, 1995. 228p.

PADULOSI, S.; NG, N.Q. Origin, taxonomy and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In: SINGH, B.B.; MOHAN RAJ, D.R.; DASHIEL, K.E.; JACKAI, L.E.N. (Ed) **Advances in cowpea research**, Tsukuba: IITA: JIRCAS, 1997. p.1-12.

PADULOSI, S.; NG, Q.N.; PERRINO, P. Origin, taxonomy and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In: SINGH, B.B.; RAJ, M. (eds). **Advances in Cowpea Research**. 1997. 375p.

PANNETON, B.; VINCENT, C.; FLEURAT-LESSARD, F. **Plant protection and physical control methods: the need to protect crop plants**. Berlin/Paris: Springer/INRA. 2001. p. 9-32.

PASCUAL-VILLALOBOS, M.J.; BALLESTA-ACOSTA, M.C. Chemical Variation in an *Ocimum basilicum* germplasm collection and activity of the essential oils on *Callosobruchus maculatus*. **Biochem Syst Ecol**, v.31, n.7, p.673– 679, 2003.

PEREIRA, P.R.V.S. Principais insetos que atacam grãos armazenados. In: SIMPOSIO DE PROTEÇÃO DE GRÃOS ARMAZENADOS, Passo Fundo, 1992. **Anais**. Passo Fundo: EMBRAPA/CNTP, 1993. p.104-116.

PLARRE, R.; HALVERSON, S.L.; BURKHOLDER, W.E.; BIGELOW, T.S.; MISENHEIMER, M.E.; BOOSKE, J.H.; NORDHEIM, E.V. **Effects des microondes de forte puissance et de differences frequencys sur *Sitophilus zeamais* Mötsch. (Coleoptera: Curculionidae)**. Conference internationale sur les ravageurs en agriculture. Montpellier (France). 6-8 jan. 1997.

POTENZA, M.R. **Emprego da radiação gama como tratamento quarentenário, visando o controle da traça *Opogona sacchari* (Bojer, 1856) (Lepidoptera: Tineidae) em banana (*Musa sp.*) e dracena (*Dracaena fragans*)**. 1999. 57p. Dissertação (mestrado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo.

QUINTELA, E.D.; NEVES, B.P. das; QUINDERÉ, M.A.W.; ROBERTS, D.W. **Principales plagas del caupi en el Brasil**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1991. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 35).

RAJAPAKSE, R.; VAN EMDEN, H.F. Potential of four vegetable oils and ten botanical powders for reducing infestation of cowpeas by *Callosobruchus maculatus*, *C. chinensis* and *C. rhodesianus*. **Journal of Stored Products Research**, v.33, n.1, p.59-68, 1997.

RAMOS, F.; MARTINS I.; FARIAS J. M.; SILVA I. C. S.; COSTA D. C.; MIRANDA A. P. Oviposition and predation by *Speciomerus revoili* (Coleoptera, Bruchidae) on seeds of *Acrocomia aculeata* (Arecaceae) in Brasília, DF, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v.61, n.3, p.449-454. 2001.

ROSINI, F.; NASCENTES, C.C; NÓBREGA, J.A. Experimentos didáticos envolvendo radiação microondas. **Química Nova**, v.27, n.6, p.1012-1015, 2004.

SANON, U. M.; GARBA, M.; VERRUMA, J; HUIGNARD, J. Analysis of the insecticidal activity of methylisothiocyanate on *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae) and its parasitoid *Dinarmus basalis* (Rondani) (Hymenoptera: Pteromalidae). **Journal of Stored Products Research**. Ouagadougou, v.38, n.2, p.129-138, 2002.

SANTOS, J.H.R.; VIEIRA, F.V. Ataque do *Callosobruchus maculatus* (F.) a *Vigna sinensis* Endl.; Influência sobre o poder germinativo de sementes do cv. Seridó. **Ciência Agrônômica**, v.1, n.2, p.71-74, 1971.

SECK, D.; SIDIBÉ, R.; HAUBRUGE, E.; HEMPTINNE, L.; GASPAR, C. **La protection chimique des stocks de niébé et de maïs contre les insectes au Sénégal**. Medelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen. Rijksuniversiteit Gen, [S.I.], p.1225-1234, 1991.

SHAYESTEH, N., BARTHAKUR, N.N. Mortality and behaviour of two stored-product insect species during microwave irradiation. **Journal of Stored Products Research**, v.32, n.3, p.239-246, 1996.

SILVA, P.H.S.; CARNEIRO, J.S. da. Pragas do feijão caupi e seu controle. In: CARDOSO, M.J. (Org.). **A cultura do feijão caupi no Meio-Norte do Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2000. cap. 9, p.181-226.

SILVA, S.M.; FREIRE FILHO, F.R. **Proteínas de feijão caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]**: caracterização e aplicação nutricional. Teresina: EMBRAPA Meio Norte, 1999, 20p.

SINGH, B.B.; EHLERS, J.D.; SHARMA, B.; FREIRE FILHO, F.R. Recent progress in cowpea breeding. In: FATOKUN, C.A.; TARAWALI, S.A.; SINGH, B. B.; KORMAWA, P. M.; TAMO, M. (Ed.). **Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production**. Ibadan: IITA, 2002. p.22-40.

SINGH, B.B.; AJEIGBE, H.A.; TARAWALI, S.A.; FERNANDEZ-RIVERA, S. and ABUBAKAR, M. Improving the production and utilization of cowpea as food and fodder. **Field Crops Research**, v.84, n.1-2, p.169-177, 2003

SOUSA, A.H.; MARACAJÁ, P.B.; SILVA, R.M, ALVES; MOURA. A.M.N; ANDRADE. W.G. Bioactivity of vegetal powders against *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae) in caupi bean and seed physiological analysis. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.5, n.2, 2005.

SOUTHGATE, B.J. Biology of the Bruchidae. **Annual Review of Entomology**. v.24, n.1, p.449-473, 1979.

SZENTEZI, A.; JERMY, T. Predispersal seed predation in leguminous species: seed morphology and bruchid distribution. **Oikos**, v.73, n.1, p.23-32, 1995.

TANZUBIL, P.B. Control of some insect pests of cowpea (*Vigna unguiculata*) with neem (*Azadirachta indica*) in Northern Ghana. **Tropical Pest Management**, v.37, n.3, p.216-217, 1991.

TAVARES, M.A.G.C.; VENDRAMIM, J.D. Bioatividade da Erva-de-Santa-Maria, *Chenopodium ambrosoides* L., sobre *Sitophilus zeamais* Mots. (Coleoptera: Curculionidae). **Neotropical Entomology**, v.34, n.2, p.319-323, 2005.

TEIXEIRA, S.M.; MAY, P.H.; SANTANA, A.C. de. **Produção** e importância econômica do caupi no Brasil. In: ARAUJO, J.P.P.; WATT, E.E. **O caupi no Brasil**. Brasília: International Institute of Tropical Agriculture/Embrapa, 1988. p.99-136.

TEÓFILO, E.M.; MAMEDE, F.B.F.; SOMBRA, N.S. Hibridação natural em feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp - Fabaceae). **Ciência e Agrotecnologia**, v.23, n.4, p.1010-1011, 1999.

TISOT, D.A. **Produtividade de grãos e variação temporal de fitomassa seca da cultura de feijão em função de doses de nitrogênio**. 2002. 71p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

TOLEDO, F.F. de; MARCOS FILHO, J. **Manual das sementes: tecnologia da produção**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1977. 244p.

VADIVAMBAL, R.; JAYAS, D.S.; WHITE, N.D.G. Determination of mortality of different life stages of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) in stored barley using microwaves. **Journal of Economic Entomology**, v.101, n.3, p.1011-1021, 2008.

VADIVAMBAL, R.; JAYAS, D.S.; WHITE, N.D.G. Wheat disinfestation using microwave energy. **Journal of Stored Products Research**, v. 43, n. 4, p. 508-514, 2007.

VALIZADEGAN, O.; POURMIRZA, A.A.; SAFARALIZADEH, M.H. Combination of microwaves radiation and cold storage for control of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Col. Silvanidae). **Journal of Biological Sciences**, v. 9, n. 3, p. 231-236, 2009.

VIEIRA, R.F.; VIEIRA, C.; RAMOS, J.A.O. **Produção de sementes de feijão**, Viçosa: EPAMIG, 1993. 31p.

VILLAVICENCIO, A.L.C.H. **Avaliação dos efeitos da radiação ionizante de Co em propriedades físicas, químicas e nutricionais dos feijões *Phaseolus vulgaris* e *Vigna unguiculata* L. (L.) Walp.** 1998. 138p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

WANG, S.; TANG, J. Radio frequency and microwaves alternative treatments for insect control in nuts. **Agricultural Engineering Journal**, v.10, n. 3\4, p. 105-120, 2001.

WARCHALEWSKI, J.R.; PRADZYNSKA, A.; GRALIK, J.; NAWROT, J. The effect of gamma and microwave irradiation of wheat grain on development parameters of some stored grain pests. **Nahrung**, v. 44, n. 6, p. 411-414, 2000.

WATKINS, K. W. Heating in microwave ovens: An example of dipole moments in action **Journal of Chemical Education**, v.60, n.12, p.1043, 1983.

WATTERS, F.L. An appraisal of gamma radiation for insect control in cereal foods. **Manitoba Entomology**, v.2, p.37-45, 1968.

WATTERS, F.L. Microwave radiation for control of *Tribolium confusum* in wheat and flour. **Journal of Stored Products Research**, v.12, n.1, p.19-25, 1976.

WEBBER H.H.; WAGNER R.P.; PEARSON A.G. High frequency electric fields as lethal agents for insects. **Journal of Economic Entomology**. v.39, n.1946, p.481-498, 1946.

YOKOYAMA, L.P.; WETZEL, C.T.; VIEIRA, E.H.N.; PEREIRA, G.V. Sementes de feijão: produção, uso e comercialização. In:Vieira, E.H.N.; Rava, C.A. In: **Sementes de feijão: produção e tecnologia**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e feijão, 2000. cap.12, p.249-270.

ZHAO, S.; QIU, C.; XIONG, S.; CHENG, X. A thermal lethal model of rice weevils subjected to microwave irradiation. **Journal of Stored Products Research**, v. 43, n.4, p. 430-434, 2007.

4. CAPÍTULO I

Radiação microondas em ovos de *Callosobruchus maculatus* visando seu controle em cultivares de feijão-caupi

Douglas Rafael e Silva Barbosa⁽¹⁾ e Lúcia da Silva Fontes⁽²⁾

⁽¹⁾Universidade Federal do Piauí, Bolsista do CNPq, Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Produção vegetal, Campus da Socopo, Bairro Socopo, CEP 64049-550 Teresina, PI. E-mail: dougrsb@hotmail.com

⁽²⁾Universidade Federal do Piauí, Departamento de Biologia, Campus Ministro Petrônio Portela, Bairro Ininga, CEP 64049-550 Teresina, PI. E-mail: lfontes@ufpi.br

Resumo - O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da radiação microondas em ovos de *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775) nas cultivares de feijão-caupi BRS Paraguaçu e BRS Xique-xique e determinar a mais resistente. A irradiação foi feita em um forno microondas comercial, com frequência de 2.450 MHz, rendimento de potência de 800 W, sendo utilizado em baixa potência (30%). Os tempos de exposição à radiação microondas utilizados foram: 0 (test.), 60, 90, 120 e 150 segundos. Observou-se, para as cultivares BRS Paraguaçu e BRS Xique-xique, redução do número de insetos emergidos por tratamento e por grão e aumento do período ovo-adulto, com uma maior exposição à radiação microondas. O tempo de exposição letal para ovos de *C. maculatus* é de 150 segundos e a cultivar BRS Xique-xique apresenta-se mais resistente que a cultivar BRS Paraguaçu.

Termos para indexação: *Vigna unguiculata*, caruncho, insetos de grãos armazenados, desinfestação.

Microwave radiation on eggs of *Callosobruchus maculatus* in order to control in cowpea cultivars

Abstract - The objective of this study was to evaluate the effects of microwave radiation on eggs of *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775) in cowpea cultivars BRS Paraguaçu and BRS Xique-xique and to determine the most resistant. The irradiation was done in a commercial microwave oven with a frequency of 2450 MHz, power output of 800 W and was used on low power (30%). The times of exposure to microwave radiation were: 0 (test.), 60, 90, 120 and 150 seconds. It was observed for BRS Paraguaçu and BRS Xique-xique, reducing the number of insects emerged per treatment and per grain and increasing grain egg-adult period, with greater exposure to microwave radiation. The exposure time lethal to eggs of *C. maculatus* is 150 seconds and the BRS-Xique xique cultivar presents tougher than BRS Paraguaçu.

Index terms: *Vigna unguiculata*, bean weevil, stored grain insects, disinfestation.

Introdução

O feijão-caupi, feijão-de-corda ou feijão-fradinho (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma leguminosa bastante cultivada nos trópicos semiáridos da África, Brasil e Estados Unidos. No Brasil, a cultura tem grande importância nas regiões Norte e Nordeste, que têm tradição em seu cultivo, comércio e consumo. Apresenta crescente avanço na região Centro-Oeste, onde o cultivo tem sido conduzido de forma mecanizada, e é crescente a demanda por cultivares de porte ereto (Rocha et al., 2009). Na região Nordeste do Brasil encontram-se as maiores áreas plantadas, e a cultura desempenha função de destaque socioeconômico, sobretudo para a população rural, além de fixar mão-de-obra no campo (Cardoso & Ribeiro, 2006). O consumo na forma de grãos secos, vagens ou grãos verdes como hortaliça, com 60 a 70% de umidade, tem aumentado nos últimos anos, tornando-se excelente alternativa de comercialização para os agricultores (Oliveira et al., 2001).

O caruncho *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775) constitui a praga mais importante do caupi armazenado, principalmente nas regiões tropicais e subtropicais (Brito et al., 2006). Tem seus danos decorrentes da penetração e alimentação das larvas no interior das sementes, provocando perda de peso, redução do poder germinativo, do valor nutritivo das sementes e grãos, e do grau de higiene do produto, pela presença de excrementos, ovos e insetos (Almeida et al., 2005).

Seu controle, assim como dos demais insetos-praga associados aos grãos armazenados, tem sido realizado em larga escala, por meio de produtos químicos fumigantes. Relatos sobre o surgimento de mecanismos de resistência a tratamentos químicos em várias espécies de insetos-praga são cada vez mais constantes (Martinazzo et al., 2000). Alguns desses inseticidas, especialmente compostos organofosforados, têm alta toxicidade a mamíferos, e os resíduos deixados podem causar problemas de saúde porque são neurotoxinas convencionais que afetam o sistema nervoso humano (Athanassiou et al., 2009).

Nas pesquisas atuais, o aumento no conhecimento dos prejuízos advindos do uso indiscriminado de produtos químicos e a preocupação dos consumidores quanto à qualidade dos alimentos têm incentivado estudos relacionados a novas técnicas de controle de pragas (Tavares & Vendramim, 2005). O uso de cultivares resistentes constitui uma das táticas mais promissoras no manejo de *C. maculatus*, pela facilidade de utilização, baixo custo e compatibilidade com outras táticas de controle (Lima et al., 2001). Outra alternativa de controle é a utilização de radiação ionizante, a qual tem se mostrado promissora no controle de pragas de grãos armazenados. O tratamento com radiação microondas pode fornecer um processo contínuo para permitir que grande quantidade de produtos sejam irradiados em um curto período de tempo. O uso da radiação microondas é considerado um método seguro e alternativo à fumigação, podendo evitar problemas de segurança alimentar e poluição ambiental (Zhao et al., 2007).

Várias pesquisas têm investigado o controle de insetos em gêneros alimentícios com a utilização de radiação microondas, tais como o trigo (Halverson et al., 1996), farinha (Shayesteh & Barthakur, 1996) e frutas (Ikediala et al., 1999; Karabulut & Baical, 2002), além de investigar efeitos letais de radiação microondas e cinética térmica de morte (Nelson, 1996; Tang et al., 2000; Wang et al., 2002; Johnson et al., 2003).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi determinar através do uso de um aparelho comercial, um tempo de exposição à radiação microondas letal para ovos do caruncho *Callosobruchus maculatus* nas cultivares de feijão-caupi BRS Paraguaçu e BRS Xique-xique e avaliá-las quanto à resistência.

Material e Métodos

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Entomologia, Departamento de Biologia, Centro de Ciências da Natureza da Universidade Federal do Piauí. Para a instalação do experimento foram utilizados insetos da espécie *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775), provenientes da criação estoque mantida no próprio laboratório, em vidro fechado de 5 L com tampas revestidas com lenço de papel, tipo "Yes", a fim de permitir as trocas gasosas e evitar a penetração de ácaros ou inimigos, sob temperatura de $30 \pm 2^\circ\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ de umidade relativa em sala climatizada.

Para realização do experimento, o substrato utilizado foi o feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), cultivares BRS Xique-xique e BRS Paraguaçu, provenientes da Embrapa Meio-Norte. Para que não houvesse interferência de outros insetos, que por acaso se encontrassem no interior dos grãos, estes foram mantidos em baixa temperatura (-5°C em geladeira) por um período de aproximadamente 30 dias, a fim de se eliminar uma possível infestação latente.

Amostras de 50 grãos de cada cultivar foram colocadas em placas de Petri medindo 2 cm de altura por 15 cm de diâmetro, cobertas com filme de PVC com pequenos orifícios. Em cada placa foram colocados 15 insetos de *C. maculatus* com idade de 24 horas, sem

determinação do sexo e deixados por um período de 48 horas, para que realizassem a oviposição. Em seguida, retirou-se os insetos adultos e iniciou-se aplicação única de radiação, com um intervalo de 15 minutos nas aplicações de um tratamento a outro, evitando assim, efeito de pré-aquecimento que interfere na mortalidade.

Para a irradiação foi utilizado um forno de microondas comercial, com frequência de 2.450 MHz, rendimento de potência de 800 W, sendo utilizado em baixa potência (30%), correspondendo a 240 W, com prato giratório, que proporciona uma melhor distribuição da temperatura no feijão irradiado. A distância da fonte de irradiação até o feijão-caupi foi de 17 cm, com as placas de Petri dispostas de maneira circular no prato. Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 (cultivares de feijão-caupi: BRS Xique-xique e BRS Paraguaçu) x 5 (tempos de exposição à radiação microondas: 0 (test.), 60, 90, 120 e 150 segundos), com cinco repetições. As placas de Petri foram mantidas em prateleiras e analisadas diariamente, avaliando-se o número de insetos emergidos (número de orifícios) por grão, número de insetos emergidos por tratamento e o período ovo-adulto, sendo as observações encerradas 28 dias após a infestação.

Os dados originais, quando necessário, foram transformados para $(x+1)^{1/2}$, analisados quanto à variância, pelo teste F a 5% de probabilidade, e as médias comparadas pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Não houve diferença significativa entre o número médio de insetos emergidos na cultivar BRS Paraguaçu nos tempos de exposição de 60, 90 e 120 segundos; porém as médias destes foram significativamente menores que a da testemunha, apresentando em média uma emergência 85,25% menor (Tabela 1). O tempo de 150 segundos induziu efeitos deletérios acentuados em ovos de *Callosobruchus maculatus*, fazendo com que nenhum inseto adulto emergisse. Para a cultivar BRS Xique-xique a testemunha apresentou o maior número de

insetos emergidos, tendo uma emergência 80,77% maior que a emergência média nos tempos de 60, 90 e 120 segundos, os quais não apresentaram diferença significativa entre si, com os dois últimos sendo semelhantes ao tempo de 150 segundos que tornou inviáveis os ovos irradiados com microondas. Nos resultados encontrados por Franco (2001), aplicando radiação microondas em ovos de *Sitophilus oryzae*, um tempo de exposição de 115 segundos induziu efeitos deletérios a ovos, afetando a emergência de insetos adultos em 50% quando comparados com a testemunha, somente conseguindo letalidade total dos ovos irradiados com o tempo de exposição de 130 segundos. Nesse trabalho, o tempo de 60 segundos aumentou a viabilidade dos ovos em 42% em relação à testemunha. Na presente pesquisa, os mesmos 60 segundos de exposição apresentaram um efeito deletério relativo em *C. maculatus*, proporcionando uma emergência 78,68 e 71,09% menor que a testemunha, para as cultivares BRS Paraguaçu e BRS Xique-xique, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1. Número médio de *Callosobruchus maculatus* emergidos por tratamento, provenientes de ovos irradiados com microondas em grãos de cultivares de feijão-caupi.

Cultivares ⁽¹⁾	Tempo de exposição à Radiação Microondas (segundos) ⁽¹⁾				
	0	60	90	120	150
BRS Paraguaçu	270,20aA	57,60aB	31,60aB	30,40aB	0,00aC
BRS Xique-xique	168,80bA	48,80aB	24,20aBC	24,40aBC	0,00aC

⁽¹⁾Dados originais; para análise foram transformados em $(x + 1)^{1/2}$; C.V. (%) = 38,03.

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro da mesma coluna e maiúscula dentro da mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.

Comparando-se as duas cultivares, grãos de BRS Xique-xique apresentaram uma menor emergência no tratamento testemunha em relação a cultivar BRS Paraguaçu, correspondendo a 62,47% desta. Isso provavelmente ocorreu devido a uma maior resistência por parte dos grãos da cultivar BRS Xique-xique, já que os tempos de exposição à radiação microondas aplicados a ambas foram os mesmos. A resistência encontrada neste caso deve ser do tipo antibiose já que os insetos não tiveram chance de escolha pelas cultivares. A presença de substâncias inibidoras de alimentação em carunchos é relatada na literatura, a exemplo da

arcelina que confere resistência a *Z. subfasciatus* em feijoeiro (Oriani & Lara, 2000; Barbosa et al., 2000) e inibidores de tripsina responsáveis pela antibiose em alguns genótipos de feijão-caupi (Gatehouse et al., 1989).

Como o tempo de 150 segundos proporcionou uma mortalidade de 100% dos ovos expostos à radiação microondas, nenhum inseto emergiu em grãos das cultivares de feijão-caupi. Os tempos de 60, 90 e 120 segundos aplicados as duas cultivares apresentaram resultados semelhantes, diferindo o número de insetos emergidos por grão apenas nos tratamentos testemunha, sendo a emergência por grão 37,41% menor na cultivar BRS Xique-xique em relação a este tratamento (Tabela 2). Resultados semelhantes foram observados por Vadivambal et al. (2008) aplicando radiação microondas nas diferentes fases do desenvolvimento de *Tribolium castaneum*, com 56 segundos de exposição à microondas em potência de 200W e umidade do grão de 16% obtiveram uma mortalidade de 88% dos ovos deste inseto. Já com o tempo de 60 segundos, obteve-se no presente trabalho, uma emergência por grão 78,7 e 71,0% menores que a testemunha, para as cultivares BRS Paraguaçu e BRS Xique-xique. Outros resultados semelhantes foram encontrados por Mahroof et al. (2003) e Shayesteh & Barthakur (1996).

Tabela 2. Número médio de *Callosobruchus maculatus* emergidos por grão, provenientes de ovos irradiados com microondas em grãos de cultivares de feijão-caupi.

Cultivares ⁽¹⁾	Tempo de exposição à Radiação Microondas (segundos) ⁽¹⁾				
	0	60	90	120	150
BRS Paraguaçu	5,40aA	1,15aB	0,63aBC	0,61aBC	0,00aC
BRS Xique-xique	3,38bA	0,98aB	0,48aBC	0,49aBC	0,00aC

⁽¹⁾Dados originais; para análise foram transformados em $(x + 1)^{1/2}$; C.V. (%) = 15,32.

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro da mesma coluna e maiúscula dentro da mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.

Em relação a cultivar BRS Paraguaçu, observou-se um aumento do período médio ovo-adulto nos tempos de exposição de 90 e 120 segundos, sendo que o primeiro não diferiu significativamente do tempo de 60 segundos e da testemunha (Tabela 3). Na cultivar BRS

Xique-xique observou-se efeito semelhante, com o tempo de 120 segundos apresentando um período ovo-adulto 7,58% maior que a testemunha. As cultivares de feijão caupi diferiram significativamente entre si somente no tratamento testemunha.

De acordo com Nelson (1996), a exposição à energia de microondas afeta a reprodução, sobrevivência e pode ocasionar deformações em insetos adultos. Nesse sentido, um aumento gradual do período de desenvolvimento dos insetos de acordo com a dose aplicada também pode ter ocorrido devido à exposição à radiação microondas.

Tabela 3. Período médio ovo-adulto (dias) de *Callosobruchus maculatus* provenientes de ovos irradiados com microondas em grãos de cultivares de feijão-caupi.

Cultivares ⁽¹⁾	Tempo de exposição à Radiação Microondas (segundos) ⁽¹⁾				
	0	60	90	120	150
BRS Paraguaçu	22,40aB	22,80aB	23,40aAB	24,25aA	-
BRS Xique-xique	22,80aB	23,40aAB	24,25aA	24,67aA	-

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro da mesma coluna e maiúscula dentro da mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de SNK a 5% de probabilidade, C.V. (%) = 3,37.

O fator quantitativo (tempo de exposição) demonstrou, quando submetido à análise de regressão na variância, efeito quadrático para as duas cultivares (Figura 1). Por meio das equações de regressão pôde-se calcular o ponto de mínima emergência de insetos por tratamento e por grão. Na cultivar BRS Paraguaçu os pontos de mínima emergência são 127,22 (Figura 1A) e 127,32 (Figura 1B) segundos, para o número de insetos emergidos por tratamento e número de insetos por grão, respectivamente. Já para a cultivar BRS Xique-xique estes valores são de 137,80 (Figura 1C) e 137,82 (Figura 1D) segundos.

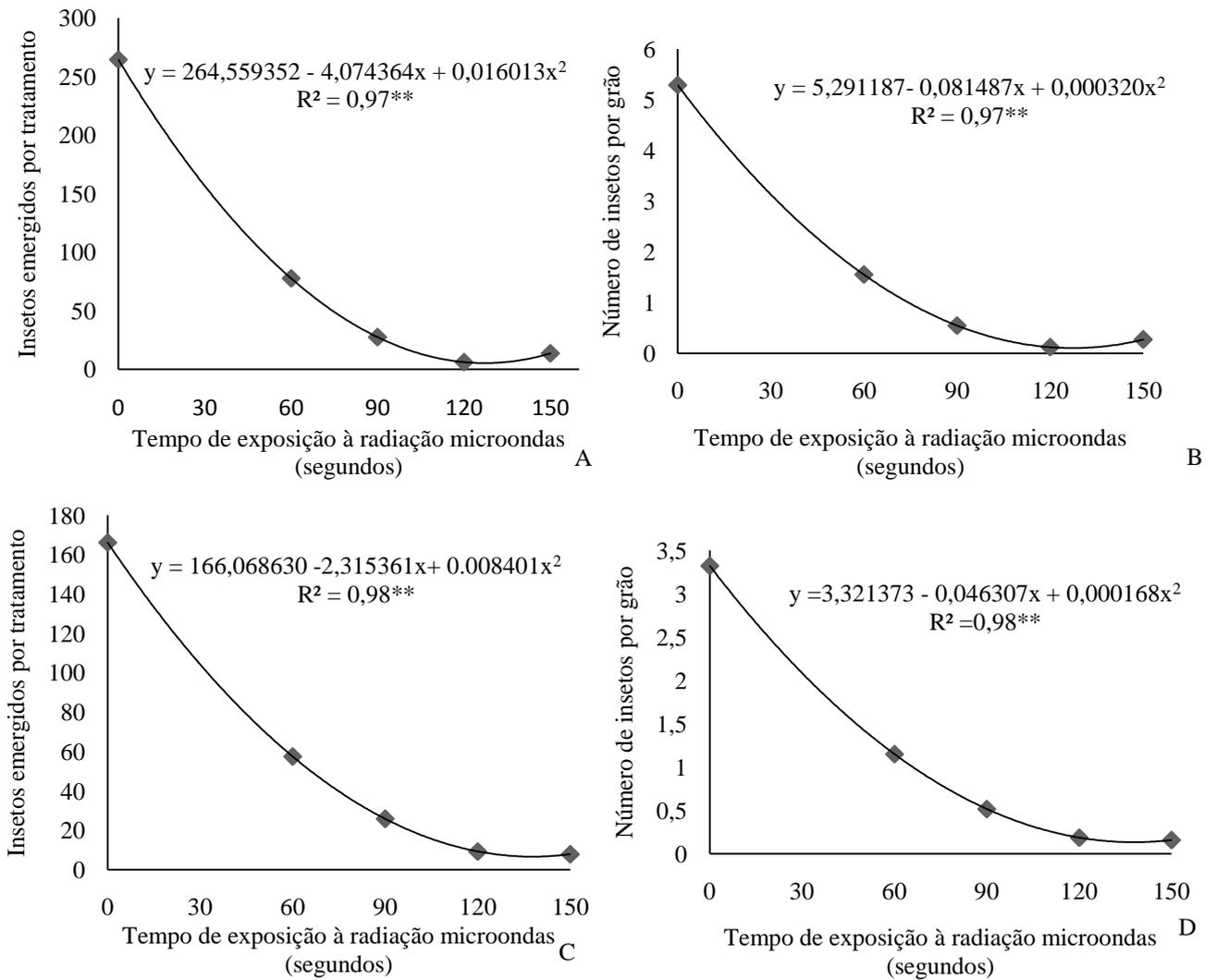


Figura 1. Efeitos da radiação microondas em ovos de *Callosobruchus maculatus* nas cultivares de feijão-caupi. A) Número de insetos emergidos por tratamento na cultivar BRS Paraguaçu. B) Número de insetos por grão na cultivar BRS Paraguaçu. C) Número de insetos emergidos por tratamento na cultivar BRS Xique-xique. D) Número de insetos por grão na cultivar BRS Xique-xique.

Conclusões

1. O tempo de exposição de 120 segundos à radiação microondas aumenta o período ovo-adulto de *Callosobruchus maculatus* nas cultivares de feijão-caupi BRS Paraguaçu e BRS Xique-xique.
2. O tempo de exposição de 150 segundos à radiação microondas proporciona um controle de 100% dos ovos de *Callosobruchus maculatus* nas duas cultivares de feijão-caupi.
3. A cultivar BRS Xique-xique apresenta maior resistência que a cultivar BRS Paraguaçu, pois apresentou menor número de insetos emergidos por tratamento e por grão.

Referências

- ALMEIDA, F. de A.C.; ALMEIDA, S.A. de; SANTOS, N.R. dos; GOMES, J.P.; ARAÚJO, M.E.R. Efeitos de extratos alcoólicos de plantas sobre o caruncho do feijão vigna (*Callosobruchus maculatus*). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.4, p.585-590, 2005.
- ATHANASSIOU, C. G.; ARTHUR, F. H.; THRONE, J. E. Efficacy of spinosad in layer-treated wheat against five stored-product insect species. **Journal of Stored Roducts Research**, v.45, n.4, p.236-240, 2009.
- BARBOSA, F.R.; YOKOYAMA, M.; PEREIRA, P.A.A.; ZIMMERMANN, F.J.P. Estabilidade da resistência a *Zabrotes subfasciatus* conferida pela proteína arcelina, em feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.5, p.895-900, 2000.
- BRITO, J.P.; OLIVEIRA, J.E.M.; BARTOLI, S.A. Toxicidade de óleos essenciais de *Eucalyptus spp.* sobre *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775) (Coleoptera: Bruchidae). **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, vol.6, n.1, p.96-103, 2006.
- CARDOSO, M.J.; RIBEIRO, V.Q. Desempenho agrônômico do feijão-caupi, cv. Rouxinol, em função de espaçamento entre linhas e densidade de plantas sob regime de sequeiro. **Revista Ciência Agrônômica**, v.37, p.102-105, 2006.
- FRANCO, J.G. **Efeitos da radiação microondas nas diferentes fases do ciclo evolutivo de *Sitophilus oryzae* (Linné, 1763) Coleoptera, Curculionidae em arroz, visando o seu controle**. 2001. 45p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

GATEHOUSE, A. M. R.; GATEHOUSE, J. A.; DOBIE, P.; KILMINSTER, A. M.; BOULTIER, D. Biochemical basis of insect resistance in *Vigna unguiculata*. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.30, n.10, p.948-958, 1989.

HALVERSON, S.L., BURKHOLDER, W.E., BIGELOW, T.S., NORDHEIM, E.V., MISENHEIMER, M.E. High-power microwave radiation as an alternative insect control method for stored products. **Journal of Economic Entomology**, v.89, n.6, p.1638-1648, 1996.

IKEDIALA, J.N., TANG, J., NEVEN, L.G., DRAKE, S.R. Quarantine treatment of cherries using 915MHz microwave: temperature mapping, codling moth mortality and fruit quality. **Postharvest Biology and Technology**, v.16, n.2, p.127-137, 1999.

JOHNSON, J.A., WANG, S., TANG, J. Thermal death kinetics of fifth instar *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae). **Journal of Economic Entomology**, v.96, n.2, p.519-524, 2003.

KARABULUT, O.A., BAYKAL, N. Evaluation of the use of microwave power for the control of post harvest diseases of peaches. **Postharvest Biology and Technology**, v.26, n.2, p.237-240, 2002.

LIMA, M.P.L. de.; OLIVEIRA, J.V.; REGINALDO BARROS, R.; TORRES, J.B. Identificação de genótipos de caupi *Vigna unguiculata* (L.) Walp. resistentes a *Callosobruchus maculatus* (Fabr.) (Coleoptera: Bruchidae). **Neotropical Entomology**, v.30, n.2, p.289-295, 2001.

MAHROOF, R., SUBRAMANYAM, B., EUSTACE, D. Temperature and relative humidity profiles during heat treatment of mills and its efficacy against *Tribolium castaneum* (Herbst) life stages. **Journal of Stored Products Research**, v.39, n.5, p.555-569, 2003.

MARTINAZZO, A.P.; FARONI, L.R.D.; BERBERT, P.A.; REIS, F.P. Utilização da fosfina em combinação com o dióxido de carbono no controle do *Rhyzopertha dominica* (F.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.6, p.1063-1069, 2000.

NELSON, S.O. Review and assessment of radio-frequency and microwave energy for stored-grain insect control. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v.39, n.4, p.1475-1484, 1996.

OLIVEIRA, A.P ; ARAÚJO, J.S.; ALVES, E.U.; NORONHA, M.A S.; CASSIMIRO, C.M.; MENDONÇA, F.G. Rendimento de feijão-caupi cultivado com esterco bovino e adubo mineral. **Horticultura Brasileira**, v.19, n.1, p.81-84, 2001.

ORIANI, M. A. de G.; LARA, F. M. Antibiosis effects of wild bean lines containing arcelin on *Bemisia tabaci* (Genn.) biotype B (Homoptera: Aleyrodidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v.29, n.3, p.573-582, 2000.

ROCHA, M. de M.; CARVALHO, K.J.M. de; FREIRE FILHO, F.R.; LOPES, A.C de A.; Gomes, R.L.F.; SOUSA, I. da S. Controle genético do comprimento do pedúnculo em feijão-caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.3, p.270-275, 2009.

SHAYESTEH, N., BARTHAKUR, N.N. Mortality and behaviour of two stored-product insect species during microwave irradiation. **Journal of Stored Products Research**, v.32, n.3, p.239-246, 1996.

TANG, J., IKEDIALA, J.N., WANG, S., HANSEN, J.D., CAVALIERI, R. High temperature- short-time quarantine treatments. **Postharvest Biology and Technology**, v.21, n.1, p.129-145, 2000.

TAVARES, M. A. G. C.; VENDRAMIM, J. D. Bioatividade da Erva-de-Santa-Maria, *Chenopodium ambrosoides* L., sobre *Sitophilus zeamais* Mots. (Coleoptera: Curculionidae). **Neotropical Entomology**, v.34, n.2, p.319-323, 2005.

VADIVAMBAL, R.; JAYAS, D.S.; WHITE, N.D.G. Determination of mortality of different life stages of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) in stored barley using microwaves. **Journal of Economic Entomology**, v.101, n.3, p.1011-1021, 2008.

WANG, S., IKEDIALA, J.N., TANG, J., HANSEN, J.D. Thermal death kinetics and heating rate effects for fifth instar *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae). **Journal of Stored Products Research**, v.38, n.5, p.441-453, 2002.

ZHAO, S.; QIU, C.; XIONG, S.; CHENG, X. A thermal lethal model of rice weevils subjected to microwave irradiation. **Journal of Stored Products Research**, v. 43, n.4, p. 430-434, 2007.

5. Capítulo II

Radiação microondas em larvas de *Callosobruchus maculatus* visando seu controle em cultivares de feijão-caupi¹

Microwave radiation on larvae of *Callosobruchus maculatus* in order to control in cowpea cultivars

Douglas Rafael e Silva Barbosa^{2*}, Lúcia da Silva Fontes³

Resumo - O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da radiação microondas em larvas de *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775) nas cultivares de feijão-caupi BRS Paraguaçu e BRS Xique-xique e determinar a mais resistente. A irradiação foi feita em um forno microondas comercial, com frequência de 2.450 MHz, rendimento de potência de 800 W, sendo utilizado em baixa potência (30%). Os tempos de exposição à radiação microondas utilizados foram: 0 (test.), 60, 90, 120 e 150 segundos. Observou-se, para as cultivares BRS Paraguaçu e BRS Xique-xique, redução do número de insetos emergidos por tratamento e por grão e aumento do período ovo-adulto, com uma maior exposição à radiação microondas. Os tempos de exposição de 120 e 150 segundos foram letais para as larvas de *C. maculatus* e as duas cultivares não apresentaram diferença quanto à resistência ao inseto.

Palavras-chave - *Vigna unguiculata*. Caruncho. Grãos armazenados. Controle alternativo.

Abstract - The objective of this study was to evaluate the effects of microwave radiation on larvae of *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775) in cowpea cultivars BRS Paraguaçu and BRS Xique-xique and to determine the most resistant. The Irradiation was done in a commercial microwave oven with a frequency of 2450 MHz, power output of 800 W, and was

*autor para correspondência

¹Parte de dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Produção Vegetal, CCA/UFPI

²Programa de Pós-Graduação em Agronomia, CCA/UFPI, Campus da Socopo, Bairro Socopo, CEP 64049-550, Teresina – PI, Brasil, dougrsb@hotmail.com

³Departamento de Biologia, CCN/UFPI, Teresina – PI, Brasil, lfontes@ufpi.br

used in low power (30%). The exposure times to microwave radiation were: 0 (control), 60, 90, 120 and 150 seconds. It was observed for the BRS Paraguaçu and BRS Xique-xique, reducing the number of insects emerged per treatment, per grain and increased egg-adult period, with greater exposure to microwave radiation. The exposure times of 120 and 150 seconds were lethal to the larvae of *C. maculatus* and the two cultivars showed no difference in insect resistance.

Key words - *Vigna unguiculata*. Bean weevil. Stored grains. Alternative control.

Introdução

No cenário mundial, o caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) tem grande importância econômica e social, especialmente na Índia e continente africano. Devido a sua rusticidade, a espécie exibe reconhecida capacidade de adaptação frente a estresses hídrico, térmico e salino. Além disso, pode ser utilizada como adubo verde, por apresentar eficiente produção de biomassa. Por essas características e também pelo alto teor de proteína presente nos grãos, o caupi pode ser considerado estratégico para a agricultura brasileira, principalmente por ocupar áreas marginais do Sertão Nordestino (FREIRE FILHO et al., 2004).

Na região Nordeste, o cultivo do feijão-caupi é uma atividade de grande importância para o desenvolvimento agrícola, tanto no aspecto econômico como no nutricional, pois é o alimento básico na alimentação das populações mais pobres, exercendo função social no suprimento das necessidades nutricionais dessa camada da população (TEÓFILO et al., 2008), além de ser fixadora de mão-de-obra (TÁVORA et al., 2001; HALL, 2003). No entanto, o nível de tecnologia empregado e as perdas de grãos ocorrem não só em condições de campo, na época da colheita, mas principalmente no armazenamento do produto, o que tem determinado o baixo rendimento da cultura. A fase de armazenamento é a mais importante porque ocorrem perdas significativas dos produtos destinados à alimentação humana e animal (BRACCINI; PICANÇO, 1995).

Dentre as pragas que atacam grãos de feijão durante o armazenamento, destaca-se o gorgulho-do-feijão, *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae), por reduzir a qualidade e o valor comercial do produto (SOUSA et al., 2005). Embora o controle químico dessa praga quando bem realizado, possa obter boa resposta na eficácia, as condições de armazenamento disponíveis da maioria dos agricultores permitem reinfestações (AZEVEDO et al., 2007). Com isso, o ataque de *C. maculatus* a grãos de feijão-caupi representa grandes perdas aos produtores na pós-colheita e os custos com o armazenamento aumentam ainda mais com o desenvolvimento de resistência a produtos químicos convencionais pelos insetos.

Uma nova perspectiva para o controle de insetos poderia ser o uso de substâncias menos perigosas ou de métodos de controle mais compatíveis com o meio ambiente. Uma estratégia de controle ambientalmente sustentável e que evite o uso de inseticidas convencionais é de primordial importância. Desinfestações de produtos armazenados através de métodos físicos como a utilização de energia microondas e tratamento a frio podem ser uma medida alternativa aos inseticidas (VALIZADEGAN et al., 2009). Assim, a utilização de radiação microondas surge como uma alternativa de controle a diversas pragas. Trabalhos como o de Shayesteh e Barthakur (1996), Warchalewski et al. (2000), Karabulut e Baical (2002), Wang et al. (2003), Wang e Tang (2004), Vadivambal et al. (2007) e Zhao et al. (2007) mostram ser viável a desinfestação pela utilização de energia microondas.

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de determinar através do uso de um aparelho comercial, um tempo de exposição à radiação microondas letal para larvas do caruncho *Callosobruchus maculatus* nas cultivares de feijão-caupi BRS Paraguaçu e BRS Xique-xique e avaliá-las quanto à resistência.

Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Entomologia, Departamento de Biologia, Centro de Ciências da Natureza da Universidade Federal do Piauí. Para a instalação do

experimento foram utilizados insetos da espécie *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775), provenientes da criação estoque mantida no próprio laboratório, em vidro fechado de 5 L com tampas revestidas com lenço de papel, tipo "Yes", a fim de permitir as trocas gasosas e evitar a penetração de ácaros ou inimigos, sob temperatura de $30 \pm 2^\circ\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ de umidade relativa em sala climatizada.

Utilizaram-se neste trabalho, grãos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), cultivares BRS Xique-xique e BRS Paraguaçu, provenientes da Embrapa Meio-Norte. Para que não houvesse interferência de outros insetos, que por acaso se encontrassem no interior dos grãos, estes foram mantidos em baixa temperatura (-5°C em geladeira) por um período de aproximadamente 30 dias, a fim de se eliminar uma possível infestação latente.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 (cultivares de feijão-caupi: BRS Xique-xique e BRS Paraguaçu) x 5 (tempos de exposição à radiação microondas: 0 (test.), 60, 90, 120 e 150 segundos), com cinco repetições. As parcelas experimentais foram constituídas por placas de Petri medindo 2 cm de altura por 15 cm de diâmetro, cobertas com filme de PVC com pequenos orifícios, contendo 50 grãos de cada cultivar. Em cada placa foram colocados 15 insetos de *C. maculatus* com idade de 24 horas, sem determinação do sexo, deixados por um período de 48 horas, para que realizassem a oviposição. Em seguida, retirou-se os insetos e realizou-se aplicação única de radiação em larvas de cerca de 10 dias de idade. As aplicações foram realizadas com um intervalo de 15 minutos de um tratamento a outro, evitando assim, efeito de pré-aquecimento que interfere na mortalidade.

Para a irradiação foi utilizado um forno de microondas comercial, com frequência de 2.450 MHz, rendimento de potência de 800 W, sendo utilizado na baixa potência (30%), correspondendo a 240 W, com prato giratório, que proporciona uma melhor distribuição da

temperatura no feijão irradiado. A distância da fonte de irradiação até o feijão-caupi foi de 17 cm, com as placas de Petri dispostas de maneira circular no prato.

Avaliou-se diariamente o número de insetos emergidos (número de orifícios) por grão, número de insetos emergidos por tratamento e o período ovo-adulto, sendo as observações encerradas 28 dias após a infestação.

Os dados originais, quando necessário, foram transformados para $(x+1)^{1/2}$, analisados quanto à variância, pelo teste F a 5% de probabilidade, e as médias comparadas pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Não houve diferença significativa entre as cultivares BRS Paraguaçu e BRS Xique-xique em relação ao número médio de insetos emergidos por tratamento (Tabela 1). Na cultivar BRS Paraguaçu a testemunha apresentou o maior número de insetos emergidos por tratamento, sendo 77,52% maior que os tratamentos com os tempos de exposição à radiação microondas de 60 e 90 segundos, com o último apresentando uma emergência 98,44% menor que a aplicação de 60 segundos (Tabela 1). Os tempos de 90, 120 e 150 segundos não apresentaram diferenças significativas entre si, porém os tempos de 120 e 150 segundos proporcionaram uma mortalidade de 100% das larvas de *Callosobruchus maculatus*. Para a cultivar BRS Xique-xique quando foram aplicados tempos de exposição à radiação microondas de 90, 120 e 150 segundos não houve diferença significativa entre o número médio de insetos emergidos, no entanto, os tempos de 120 e 150 segundos fizeram com que nenhum inseto adulto emergisse. O tratamento testemunha apresentou uma emergência 95,98% maior que os demais, já os tratamentos com os tempos de 60 e 90 segundos apresentaram diferença significativa entre si e com a testemunha, com o tempo de 90 segundos de exposição apresentando um número de insetos emergidos 98,19% menor que o tempo de 60 segundos. Resultados semelhantes foram observados por Vadivambal et al.

(2008) aplicando radiação microondas em larvas de *Tribolium castaneum*, com 56 segundos de exposição à radiação microondas em potência de 200W e umidade do grão de 16% obtiveram uma mortalidade de 73 a 81% dos insetos expostos. No presente trabalho, obteve-se com o tempo de exposição de 60 segundos em potência de 240W uma emergência 75,54 e 84,19% % menor que a testemunha, para as cultivares BRS Paraguaçu e BRS Xique-xique, respectivamente. Com isso, diminuiu-se consideravelmente a viabilidade das larvas de *C. maculatus*.

Tabela 1 - Número médio de *Callosobruchus maculatus* emergidos por tratamento, provenientes de larvas irradiadas com microondas em grãos de cultivares de feijão-caupi

Cultivares	Tempo de exposição à Radiação Microondas (segundos)				
	0	60	90	120	150
BRS Paraguaçu	157,00aA	38,40aB	0,60aC	0,00aC	0,00aC
BRS Xique-xique	210,00aA	33,20aB	0,60aC	0,00aC	0,00aC
CV (%) = 46, 92					

*Dados originais; para análise foram transformados em $(x + 1)^{1/2}$

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro da mesma coluna e maiúscula dentro da mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de SNK a 5% de probabilidade

Bedi e Major (1992) estudaram os efeitos do tempo de exposição e frequência de radiação microondas em larvas de *Corcyra cephalonica* e adultos de *Rhyzopertha dominica* e *Callosobruchus chinensis* e perceberam que quando expostos à irradiação microondas durante 2,5 a 10 minutos a mortalidade variou de 0 a 54%, conforme o aumento do tempo de exposição e da frequência (12 a 18 GHz). Estes resultados concordam com a presente pesquisa, já que observou-se uma menor emergência e conseqüentemente uma menor viabilidade das larvas de *C. maculatus* com o aumento do tempo de exposição à radiação microondas, com a mortalidade de 100% sendo atingida a partir de 120 segundos de exposição, em relação às duas cultivares de feijão-caupi (Tabelas 1).

Como os tempos de exposição de 120 e 150 segundos proporcionaram uma mortalidade de 100% das larvas expostas à radiação microondas, nenhum inseto emergiu em grãos das cultivares de feijão-caupi (Tabela 2). Não houve diferença significativa entre as cultivares de acordo com o tempo aplicado. Nas duas cultivares, o maior número de insetos emergidos por grão foi observado no tratamento testemunha, sendo 93,87 e 96,01% superior aos demais, para as cultivares BRS Paraguaçu e BRS Xique-xique, respectivamente. Estes resultados são semelhantes aos de Franco (2001) já que com 130 e 160 segundos de exposição à microondas obteve a mortalidade de 100% dos insetos de *Sitophilus oryzae*, porém o tempo de 100 segundos foi suficiente para matar 100% da população de insetos.

Tabela 2 - Número médio de *Callosobruchus maculatus* emergidos por grão, provenientes de larvas irradiadas com microondas em cultivares de feijão-caupi

Cultivares	Tempo de exposição à Radiação Microondas (segundos)				
	0	60	90	120	150
BRS Paraguaçu	3,14aA	0,76aB	0,01aB	0,00aB	0,00aB
BRS Xique-xique	4,20aA	0,66aB	0,01aB	0,00aB	0,00aB
CV (%) = 17,93					

*Dados originais; para análise foram transformados em $(x + 1)^{1/2}$

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro da mesma coluna e maiúscula dentro da mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de SNK a 5% de probabilidade

Nas duas cultivares de feijão-caupi observou-se um aumento do período médio ovo-adulto no tempo de 90 segundos de radiação microondas em relação ao tratamento testemunha, esse aumento foi de 8,87 e 6,53% para as cultivares BRS Paraguaçu e BRS Xique-xique, respectivamente (Tabela 3). O tempo de 60 segundos foi significativamente diferente do tratamento testemunha na cultivar BRS Xique-xique, correspondendo a um período ovo-adulto 5,13% maior que este.

Tabela 3. Período médio ovo-adulto (dias) de *Callosobruchus maculatus* provenientes de larvas irradiadas com microondas em grãos de cultivares de feijão-caupi

Cultivares	Tempo de exposição à Radiação Microondas (segundos)				
	0	60	90	120	150
BRS Paraguaçu	22,60aB	23,40aB	24,80aA	-	-
BRS Xique-xique	22,20aB	23,40aA	23,75bA	-	-
CV (%) = 3, 09					

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro da mesma coluna e maiúscula dentro da mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de SNK a 5% de probabilidade

De acordo com Wang e Tang (2001) insetos sob radiação microondas são inclinados a alguns tipos de “stress” como por exemplo atmosfera controlada, podendo ser utilizado também o frio. Estas medidas podem ser feitas em locais onde a estrutura permita. Segundo Fields (1992) o ambiente do armazém é geralmente fechado, permitindo a manipulação da temperatura, a qual pode restringir a população de insetos, tornando-se uma excelente ferramenta para a indústria de produtos armazenados. A exposição a temperaturas 5°C acima da ótima é capaz de retardar ou parar o desenvolvimento do inseto dependendo da espécie, podendo causar até a morte. A exposição a temperaturas entre 42 – 50°C por curtos períodos de tempo produzem a mortalidade de 90%. No presente trabalho, notou-se que com o aumento do tempo de exposição à radiação microondas e conseqüentemente a elevação da temperatura, obteve-se um período ovo-adulto maior, chegando-se à letalidade com os tempos de 120 e 150 segundos de radiação.

Segundo Wang e Tang (2001) o aquecimento dielétrico é um termo que se refere aos sistemas RF (radiofrequência) e MW (microondas) que são ondas eletromagnéticas de alta frequência. Quando o material com moléculas de água é sujeito a um campo eletromagnético que muda rapidamente de direção, as moléculas de água giram em sentido do campo elétrico. A fricção molecular da água produz o calor interno do material. A frequência em uma escala de 12 MHz-2450 MHz é usada geralmente na engenharia de alimentos. Vadivambal et al. (2007) utilizou uma frequência de 2,4GHz de radiação microondas para determinar a

mortalidade de três espécies de pragas de grãos armazenados, encontrando mortalidade total em 28 segundos numa potência de 500W. A frequência utilizada no presente trabalho foi de 2450 MHz, suficiente para gerar calor interno que causasse a morte dos insetos. Por meio das equações quadráticas de regressão pôde-se calcular o ponto de mínima emergência de insetos por tratamento e por grão para cada uma das cultivares, os quais são 123,05 (Figura 1A) e 123,03 (Figura 1B) segundos para o número de insetos emergidos por tratamento e número de insetos por grão na cultivar BRS Paraguaçu, para a cultivar BRS Xique-xique estes valores são de 117,11(Figura 1C) e 117,26 segundos (Figura 1D).

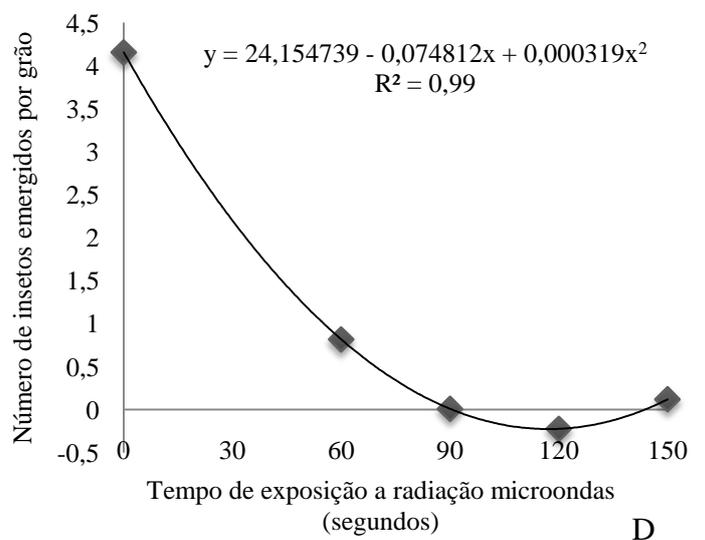
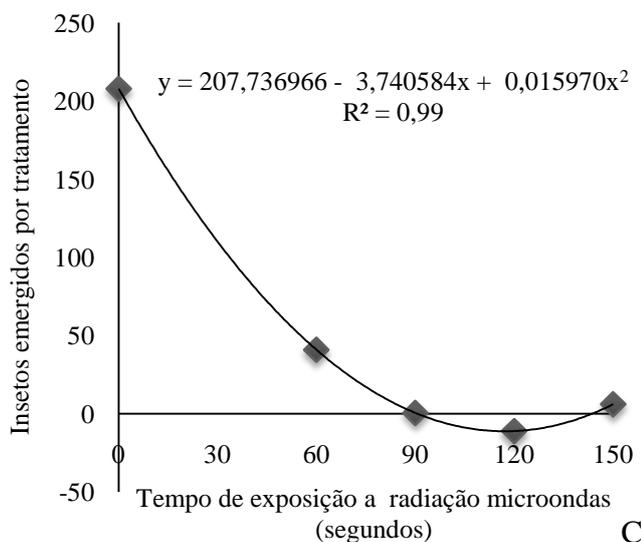
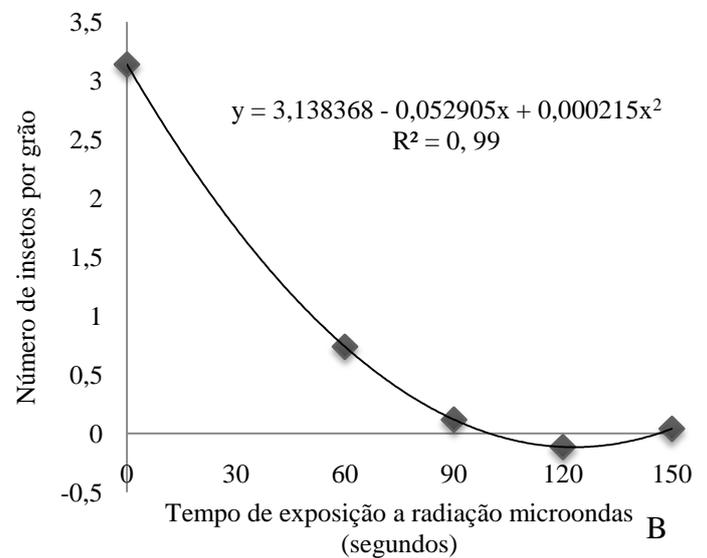
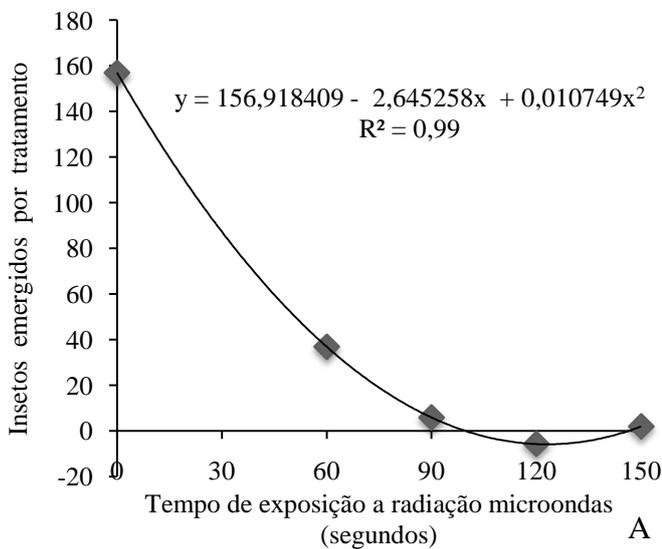


Figura 1 - Efeitos da radiação microondas em larvas de *Callosobruchus maculatus* nas cultivares de feijão-caupi. A) Número de insetos emergidos por tratamento na cultivar BRS Paraguaçu. B) Número de insetos por grão na cultivar BRS Paraguaçu. C) Número de insetos emergidos por tratamento na cultivar BRS Xique-xique. D) Número de insetos por grão na cultivar BRS Xique-xique.

Conclusões

1. Um aumento gradual do tempo de exposição à radiação microondas provocou uma redução do número de insetos emergidos por tratamento, por grão e aumento do período ovo-adulto de *Callosobruchus maculatus*;
2. Os tempos de exposição à radiação microondas de 120 e 150 segundos provocaram a morte de 100% das larvas de *Callosobruchus maculatus*.
3. As cultivares de feijão-caupi BRS Paraguaçu e BRS Xique-xique apresentaram emergência por tratamento e por grão e período ovo-adulto semelhantes, não diferindo quanto à resistência ao inseto.

Referências

- AZEVEDO, F. R. de et al. Eficiência de produtos naturais no controle de *Callosobruchus maculatus* (Fab.) em feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) armazenado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 2, p.182-187, 2007.
- BEDI, S. S.; MAJOR, S. Microwaves for control of stored grain insects. **National Academy Science Letters**, v. 15, n. 6, p. 195-197, 1992.
- BRACCINI, A. L.; PICANÇO, M. Manejo integrado de pragas do feijoeiro no armazenamento. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 20, n. 1/2, p. 37-43, 1995.
- FIELDS, P. G. The control of stored-product insects mites with extreme temperatures. **Journal of Stored Products Research**, v. 28, n. 2, p. 89-118, 1992.

FRANCO, J. G. **Efeitos da radiação microondas nas diferentes fases do ciclo evolutivo de *Sitophilus oryzae* (Linné, 1763) Coleoptera, Curculionidae em arroz, visando o seu controle.** 2001. 45p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

FREIRE FILHO, F.R. et al. **Feijão caupi: avanços tecnológicos.** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2004. 640p.

HALL, A. E. Future directions of bean/cowpea collaborative research support program. **Field Crops Research**, v. 82, p. 233- 240, 2003.

KARABULUT, O. A., BAYKAL, N. Evaluation of the use of microwave power for the control of post harvest diseases of peaches. **Postharvest Biology and Technology**, v. 26, n. 2, p. 237-240, 2002.

SHAYESTEH, N., BARTHAKUR, N. N. Mortality and behaviour of two stored-product insect species during microwave irradiation. **Journal of Stored Products Research**, v. 32, n. 3, p. 239–246, 1996.

SOUSA, A. H. et al. Bioactivity of vegetal powders against *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae) in caupi bean and seed physiological analysis. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 5, n. 2, 2005.

TÁVORA, F. J. A. F. et al. Arranjo e população de plantas em cultivares de feijão-de-corda com diferentes características de copa. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 32, p. 69-77, 2001.

TEÓFILO, E. M. et al. Potencial fisiológico de sementes de feijão caupi produzidas em duas regiões do Estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 3, p. 443-448, 2008.

VADIVAMBAL, R. et al. Wheat disinfestation using microwave energy. **Journal of Stored Products Research**, v. 43, n. 4, p. 508-514, 2007.

VADIVAMBAL, R. et al. Determination of mortality of different life stages of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) in stored barley using microwaves. **Journal of Economic Entomology**, v. 101, n. 3, p. 1011-1021, 2008.

VALIZADEGAN, O. et al. Combination of microwaves radiation and cold storage for control of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Col. Silvanidae). **Journal of Biological Sciences**, v. 9, n. 3, p. 231-236, 2009.

WANG, S.; TANG, J. Radio frequency and microwaves alternative treatments for insect control in nuts. **Agricultural Engineering Journal**, v.10, n. 3\4, p. 105-120, 2001.

WANG, Y. et al. Dielectric properties of food relevant to RF and microwave pasteurization and sterilization. **Journal of Food Engineering**, v. 57, n. 3, p. 257 - 268, 2003.

WANG S. J.; TANG, J. Radio frequency heating: a potential method for post-harvest pest control in nuts and dry products. **Journal of Zhejiang University SCIENCE**, v. 5, n. 10, p. 1169-1174, 2004.

WARCHALEWSKI, J. R. et al. The effect of gamma and microwave irradiation of wheat grain on development parameters of some stored grain pests. **Nahrung**, v. 44, n. 6, p. 411-414, 2000.

ZHAO, S. et al. A thermal lethal model of rice weevils subjected to microwave irradiation. **Journal of Stored Products Research**, v. 43, n.4, p. 430-434, 2007.

6. CAPÍTULO III

Radiação microondas em pupas de *Callosobruchus maculatus* visando seu controle em cultivares de feijão-caupi

Douglas Rafael e Silva Barbosa¹ e Lúcia da Silva Fontes²

¹Universidade Federal do Piauí, Bolsista do CNPq, Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Produção Vegetal, Campus da Socopo, Bairro Socopo, CEP 64049-550 Teresina, PI. E-mail: dougrsb@hotmail.com

²Universidade Federal do Piauí, Departamento de Biologia, Campus Ministro Petrônio Portela, Bairro Ininga, CEP 64049-550 Teresina, PI. E-mail: lfontes@ufpi.br

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da radiação microondas em pupas de *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775) nas cultivares de feijão-caupi BRS Paraguaçu e BRS Xique-xique e determinar a mais resistente. A irradiação foi feita em um forno microondas comercial, com frequência de 2.450 MHz, rendimento de potência de 800 W, sendo utilizado em baixa potência (30%). Os tempos de exposição à radiação microondas utilizados foram: 0 (test.), 60, 90, 120 e 150 segundos. Observou-se, para as cultivares BRS Paraguaçu e BRS Xique-xique, redução do número de insetos emergidos por tratamento, por grão e aumento do período ovo-adulto, com exposição a 60 segundos de radiação microondas. Os tempos de 90, 120 e 150 segundos de exposição à radiação microondas foram letais para as pupas de *C. maculatus* e a cultivar BRS Xique-xique apresentou-se mais resistente que a cultivar BRS Paraguaçu.

Palavras-chaves: *Vigna unguiculata*, caruncho, irradiação, tempo de exposição.

Microwave radiation on pupae of *Callosobruchus maculatus* in order to control in cowpea cultivars

Abstract

The objective of this study was to evaluate the effects of microwave radiation on pupae of *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775) in cowpea cultivars BRS Paraguaçu and BRS Xique-

xique and to determine the most resistant. The Irradiation was done in a commercial microwave oven with a frequency of 2450 MHz, power output of 800 W, and was used in low power (30%). The exposure times to microwave radiation were: 0 (control), 60, 90, 120 and 150 seconds. It was observed for the BRS Paraguaçu and BRS Xique-xique, reducing the number of insects emerged per treatment, per grain and increased egg-adult period, with 60 seconds exposure to microwave radiation. The exposure times of 90, 120 and 150 seconds of exposure to microwave radiation were lethal to the pupae of *C. maculatus* and the BRS Xique xique cultivar was more resistant than BRS Paraguaçu.

Key words: *Vigna unguiculata*, bean weevil, irradiation, exposure time.

INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), também conhecido como feijão-macassar ou feijão-de-corda, é uma espécie de ampla distribuição mundial, principalmente nas regiões tropicais, em virtude de estas apresentarem condições edafoclimáticas semelhantes às do seu provável berço de origem: a África (Brito et al., 2009). É um importante componente da dieta alimentar de povos, especialmente em países subdesenvolvidos. Sua importância está no alto conteúdo de proteína nas sementes (Akande, 2007).

No Brasil, o feijão-caupi tem significativa importância socioeconômica como suprimento alimentar, na fixação de mão de obra no campo e como componente da produção agrícola, especialmente nas regiões Norte e Nordeste (Bezerra et al., 2008). A produção brasileira de feijão-caupi é de 750 toneladas por ano. Nos estados do Amazonas, Maranhão, Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte, o cultivo do feijão-caupi representa de 95 a 100% do total das áreas cultivadas com feijão (Souza et al., 2005). Explorado tradicionalmente nos sistemas agrícolas familiares, em cultivo de sequeiro e com baixo nível tecnológico, o feijão-caupi tem sido pesquisado mais intensamente nas últimas décadas (Xavier et al., 2005).

Na região Nordeste do Brasil, o caupi é o feijão com maior área plantada e sofre grande infestação do caruncho *Callosobruchus maculatus*, principalmente durante o armazenamento (Mota et al. 2002). O efetivo controle da infestação por insetos praga como este, pode ser conseguido com o uso de inseticidas convencionais. Entretanto, os inseticidas convencionais são caros e podem provocar efeitos adversos ao ambiente (Kawuki et al., 2005). Com isso, é importante o desenvolvimento de métodos alternativos de controle como o desenvolvimento de variedades resistentes, utilização de plantas inseticidas, além de métodos físicos de controle, como o uso de radiação ionizante, X e microondas.

Trabalhos como os de Fontes & Arthur (1994) usando radiação gama em ovos de *Tribolium castaneum*, Halverson et al. (1996) usando radiação microondas no controle de insetos pragas de produtos armazenados, Wang et al. (2001) usando radiofrequência no controle de *Cydia pomonella*, Cleghorn et al. (2002) com feixes de elétrons no controle de insetos de produtos armazenados, Rami Reddy et al. (2006) usando elétrons acelerados para o controle de *Callosobruchus chinensis*, Vadivambal et al. (2008b) avaliando a mortalidade de insetos de grãos armazenados expostos a energia microondas e Shim et al. (2009) com radiação gama contra *Plodia interpunctella*, mostraram ser viável o controle de insetos com a utilização de métodos físicos de controle.

A partir destas considerações, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de determinar através do uso de um aparelho comercial, um tempo de exposição à radiação microondas letal para pupas do caruncho *Callosobruchus maculatus* nas cultivares de feijão-caupi BRS Paraguaçu e BRS Xique-xique e avaliá-las quanto à resistência.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Entomologia, Departamento de Biologia, Centro de Ciências da Natureza da Universidade Federal do Piauí. Para a realização do experimento foram utilizados insetos da espécie *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775), provenientes da criação estoque mantida no próprio laboratório, em vidro fechado de 5 L com tampas revestidas com lenço de papel, tipo "Yes", sob temperatura de 30 ± 2 °C e $70 \pm 5\%$ de umidade relativa em sala climatizada.

Foram utilizados neste experimento, grãos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) das cultivares BRS Xique-xique e BRS Paraguaçu, provenientes da Embrapa Meio-Norte. Para que não houvesse interferência de outros insetos, que por acaso se encontrassem no interior dos grãos, estes foram mantidos em baixa temperatura (-5° C em geladeira) por um período de aproximadamente 30 dias, a fim de se eliminar uma possível infestação latente.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 (cultivares de feijão-caupi: BRS Xique-xique e BRS Paraguaçu) x 5 (tempos de exposição à radiação microondas: 0 (test.), 60, 90, 120 e 150 segundos), com cinco repetições. As parcelas experimentais foram constituídas por placas de Petri medindo 2 cm de altura por 15 cm de diâmetro, cobertas com filme de PVC com pequenos orifícios, contendo 50 grãos de cada cultivar. Em cada placa foram colocados 15 insetos de *C. maculatus* com idade de 24 h, sem determinação do sexo, deixados por um período de 48 h, para que realizassem a oviposição. Em seguida, retirou-se os insetos e realizou-se aplicação única de radiação em pupas de cerca

de 3 dias de idade. As aplicações foram realizadas com um intervalo de 15 minutos de um tratamento a outro, evitando assim, efeito de pré-aquecimento que interfere na mortalidade.

Para a irradiação foi utilizado um forno de microondas comercial, com frequência de 2.450 MHz, rendimento de potência de 800 W, sendo utilizado na baixa potência (30%), correspondendo a 240 W, com prato giratório, que proporciona uma melhor distribuição da temperatura no feijão irradiado. A distância da fonte de irradiação até o feijão-caupi foi de 17 cm, com as placas de Petri dispostas de maneira circular no prato.

Avaliou-se diariamente o número de insetos emergidos (número de orifícios) por grão, número de insetos emergidos por tratamento e o período ovo-adulto, sendo as observações encerradas após 28 dias da infestação.

Os dados originais, quando necessário, foram transformados para $(x+1)^{1/2}$, analisados quanto à variância, pelo teste F a 5% de probabilidade, e as médias comparadas pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na cultivar BRS Paraguaçu, houve diferença significativa entre a testemunha e o tempo de exposição à radiação microondas de 60 segundos, sendo que nesta obteve-se um número médio de insetos emergidos por tratamento 96,63% menor que o tratamento sem aplicação de microondas (Tabela 1). Vadivambal et al. (2007) conseguiram obter 100% de mortalidade em pupas de *Tribolium castaneum* aplicando um tempo de exposição à radiação microondas de 28 segundos com uma potência de 500W em grãos com índice de umidade de 14%. No presente trabalho, nos grãos de BRS Paraguaçu, os tempos de exposição de 90, 120 e 150 segundos à radiação microondas proporcionaram uma inviabilidade de 100% das pupas irradiadas em potência de 240W, não apresentando diferença significativa entre si, porém diferindo significativamente do tempo de 60 segundos e do tratamento testemunha. Para a cultivar BRS Xique-xique os tempos de 90, 120 e 150 segundos fizeram com que nenhum inseto adulto emergisse, diferindo do tratamento testemunha e do tempo de 60 segundos, mas não diferindo entre si. Nesta cultivar, o tratamento testemunha apresentou o maior número de insetos emergidos, tendo uma emergência 98,88% maior que os demais tempos, em média. Franco et al. (2004) estudando efeitos da radiação microondas em pupas de *Sitophilus oryzae* observaram que tempos de exposição a partir de 100 segundos provocavam a morte de 100% das pupas irradiadas, já o tempo de 80 segundos de exposição, reduziu em, aproximadamente, 95% a emergência de adultos na geração filial em relação a testemunha. No presente trabalho, tempos de exposição a partir de 90 segundos mataram 100% das pupas no interior dos grãos,

já o tempo de 60 segundos de radiação microondas reduziu em 96,07% a emergência média por tratamento em relação à testemunha, levando-se em conta as duas cultivares.

Tabela 1. Número médio de *Callosobruchus maculatus* emergidos por tratamento, provenientes de pupas irradiadas com microondas em grãos de cultivares de feijão-caupi

Table 1. Average number of *Callosobruchus maculatus* emerged per treatment, proceeding from pupae radiated with microwave in grains of cowpea cultivars

Cultivares	Tempo de exposição à Radiação Microondas (segundos)				
	0	60	90	120	150
BRS Paraguaçu	291,20aA	9,80aB	0,00aC	0,00aC	0,00aC
BRS Xique-xique	147,40bA	6,60aB	0,00aC	0,00aC	0,00aC

CV (%) = 21, 18. Dados originais; para análise foram transformados em $(x + 1)^{1/2}$. Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro da mesma coluna e maiúscula dentro da mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de SNK a 5% de probabilidade

Não houve diferença significativa entre o número médio de insetos emergidos por grão na cultivar BRS Paraguaçu quando foram aplicados tempos de exposição à radiação microondas de 60, 90, 120 e 150 segundos (Tabela 2). Vadivambal et al. (2008a) aplicando radiação microondas em pupas de *Tribolium castaneum*, observaram que um tempo de 56 segundos em potência de 400W ocasionou 100% de mortalidade. No presente trabalho, a partir do tempo de exposição de 90 segundos, nenhum inseto emergiu em grãos da cultivar de feijão-caupi BRS Paraguaçu, porém os tempos de 60 a 150 segundos diferiram significativamente do tratamento testemunha, apresentando uma emergência por grão 99,18% menor. Como as doses de 90, 120 e 150 segundos proporcionaram uma mortalidade de 100% das pupas expostas à radiação microondas, nenhum inseto emergiu em grãos da cultivar de feijão-caupi BRS Xique-xique, sendo estes tempos diferentes significativamente do tratamento testemunha. Já o tempo de 60 segundos não diferiu estatisticamente dos tempos superiores, tendo uma emergência por grão 95,59% menor que o tratamento testemunha. As duas cultivares diferiram apenas nos tratamentos sem aplicação de radiação microondas.

Tabela 2. Número médio de *Callosobruchus maculatus* emergidos por grão, provenientes de pupas irradiadas com microondas em cultivares de feijão-caupi

Table 2. Average number of *Callosobruchus maculatus* emerged per grain, proceeding from pupae radiated with microwave in cowpea cultivars

Cultivares	Tempo de exposição à Radiação Microondas (segundos)				
	0	60	90	120	150
BRS Paraguaçu	5,82aA	0,19aB	0,00aB	0,00aB	0,00aB
BRS Xique-xique	2,95bA	0,13aB	0,00aB	0,00aB	0,00aB

CV (%) = 7, 70. Dados originais; para análise foram transformados em $(x + 1)^{1/2}$. Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro da mesma coluna e maiúscula dentro da mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de SNK a 5% de probabilidade

Comparando-se as duas cultivares, grãos de BRS Xique-xique apresentaram uma maior resistência em relação a cultivar BRS Paraguaçu, pois apresentaram uma emergência por

tratamento e por grão 48,84% e 48,75% menor, respectivamente. A resistência encontrada neste caso deve ser do tipo antibiose já que os insetos não tiveram chance de escolha pelas cultivares. Segundo Lima et al. (2001) nos países produtores de caupi, o uso de cultivares resistentes constitui uma alternativa promissora, com o objetivo de reduzir os danos e as perdas no armazenamento, portanto a cultivar BRS Xique-xique pode evitar mais perdas durante a fase pós-colheita, pois apresentou-se mais resistente que a cultivar BRS Paraguaçu.

Nas duas cultivares de feijão-caupi observou-se um aumento do período médio ovo-adulto no tempo de 60 segundos em relação ao tratamento testemunha, diferindo significativamente deste (Tabela 3). Na cultivar BRS Xique-xique este aumento foi de 4,76% e na cultivar BRS Paraguaçu de 7,5%. As duas cultivares diferiram entre si em relação ao período ovo-adulto, com a cultivar BRS Xique-xique apresentando um período de desenvolvimento 6,09% maior. Warchalewski et al. (2000) estudando efeitos da radiação microondas e gama em algumas pragas de grãos armazenados, observaram que grãos de trigo quando tratados com microondas encurtaram o tempo larval de *Tribolium confusum* e *Ephestia kuehniella*. No presente trabalho, cultivares de feijão-caupi quando tratadas com radiação microondas elevaram o período de desenvolvimento dos insetos de *C. maculatus*, aumentando o período pupal destes insetos, já que a aplicação de microondas foi feita neste estágio de desenvolvimento.

Tabela 3. Período médio ovo-adulto (dias) de *Callosobruchus maculatus* provenientes de pupas irradiadas com microondas em grãos de cultivares de feijão-caupi

Table 3. Period average egg-adult(days) of *Callosobruchus maculatus* proceeding from pupae radiated with microwave in grains of cowpea cultivars

Cultivares	Tempo de exposição à Radiação Microondas (segundos)				
	0	60	90	120	150
BRS Paraguaçu	22,20bB	24,00bA			-
BRS Xique-xique	24,00aB	25,20aA	-	-	-

CV (%) = 3,25. Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro da mesma coluna e maiúscula dentro da mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de SNK a 5% de probabilidade

Ikediala et al. (1999) estudando efeitos da radiação na mortalidade de *Cydia pomonella* e na qualidade de frutas, usaram uma frequência de 915 MHz de microondas, conseguindo uma mortalidade de larvas em terceiro ínstar de até 98% com dois dias de armazenamento a frio após o tratamento com microondas. A frequência utilizada no presente trabalho foi de 2450 MHz, suficiente para causar a morte de 100% das pupas no interior dos grãos de feijão-caupi a partir de 90 segundos. Por meio das equações de regressão cúbicas, estimou-se o tempo de exposição que ocasionasse uma mínima emergência, os quais são 87,48 segundos para o número de insetos emergidos por tratamento (Figura 1A) e 86,29 segundos para o número de

insetos por grão (Figura 1B) na cultivar BRS Paraguaçu. Para a cultivar BRS Xique-xique estes valores são de 88,97(Figura 1C) e 73,37 (Figura 1D) segundos.

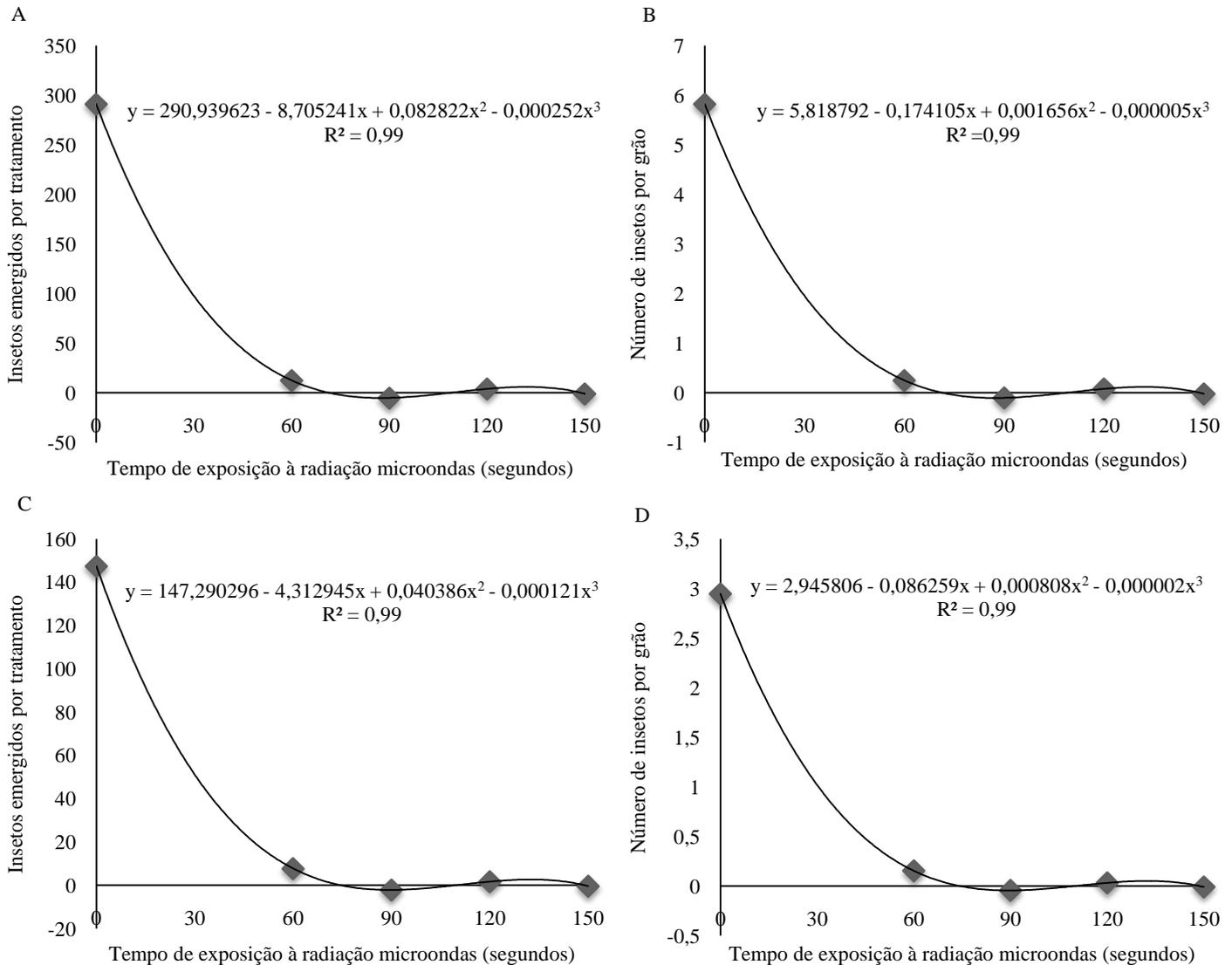


Figura 1. Efeitos da radiação microondas em pupas de *Callosobruchus maculatus* nas cultivares de feijão-caupi. A) Número de insetos emergidos por tratamento na cultivar BRS Paraguaçu. B) Número de insetos por grão na cultivar BRS Paraguaçu. C) Número de insetos emergidos por tratamento na cultivar BRS Xique-xique. D) Número de insetos por grão na cultivar BRS Xique-xique.

Figure 1. Effects of the microwave radiation in pupae of *Callosobruchus maculatus* in cowpea cultivars. A) Number of insects emerged per treatment in BRS Paraguaçu cultivar. B) Number of insects per grain in BRS Paraguaçu cultivar. C) Number of insects emerged per treatment in BRS Xique-xique cultivar. D) Number of insects per grain in BRS Xique-xique cultivar.

Bhaskara et al. (1998) estudaram o efeito do tratamento com microondas na qualidade de sementes de trigo contaminadas com *Fusarium graminearum*. Seus resultados mostraram que

a erradicação do micróbio patogênico aumentou com a energia microondas total, mas a viabilidade e o vigor da semente diminuíram. Em vista disso, para um uso de radiação microondas como meio alternativo de controle eficiente, deve-se conhecer além dos efeitos nos insetos praga, as modificações nos produtos irradiados devido a elevação da temperatura, afetando características como sabor, odor, coloração e etc. Segundo Wang & Tang (2001) as energias de radiofrequência e microondas não deixam resíduo químico nos produtos, são processos seguros aos operadores e causam pouco impacto ao ambiente. Entretanto, os tratamentos de aquecimento dielétrico para aplicações práticas na indústria têm uma grande distância a percorrer devido ao custo alto da energia, ao aquecimento desigual e ao dano na qualidade.

CONCLUSÕES

O tempo de exposição de 60 segundos provocou uma redução do número de insetos emergidos por tratamento, por grão e aumento do período ovo-adulto de *Callosobruchus maculatus*;

Os tempos de exposição de 90, 120 e 150 segundos à radiação microondas provocaram a morte de 100% das pupas de *Callosobruchus maculatus*;

A cultivar BRS Xique-xique apresentou-se mais resistente que a cultivar BRS Paraguaçu, pois teve um menor número de insetos emergidos por tratamento e por grão e um período ovo-adulto maior.

LITERATURA CITADA

- Akande, S. R. Genotype by environment interaction for cowpea seed yield and disease reactions in the forest and derived savanna agro-ecologies of south-west Nigeria. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science*, v. 2, n. 2, p.163-168, 2007.
- Bezerra, A. A. de C.; Távora, F. J. A. F.; Freire Filho, F. R.; Ribeiro, V. Q. Morfologia e produção de grãos em linhagens modernas de feijão-caupi submetidas a diferentes densidades populacionais. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 8, n. 1, p. 85-93, 2008.
- Bhaskara, M. V.; Raghavan, G. S. V.; Kushalappa, A. C.; Paulitz, T. C. Effects of microwave treatment on quality of wheat seeds infected with *Fusarium graminearum*. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v. 71, n. 2, p. 113-117, 1998.

- Brito, M. de M. P.; Edson, T. M.; Silva, C. da. Marcha de absorção do nitrogênio do solo, do fertilizante e da fixação simbiótica em feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) determinada com uso de ^{15}N . *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n. 4, p. 895-905, 2009.
- Cleghorn, D. A.; Nablo, S. V.; Ferro, D. N.; Hagstrum, D. W. Electron beam treatment parameters for control of stored product insects. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 63, n. 3\6, p. 575–579, 2002.
- Fontes, L. S.; Arthur, V. Efeitos da radiação gama do cobalto-60 em ovos de *Tribolium castaneum* (Herbst., 1797) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Scientia agricola*, v.51, n.3, p.403-406, 1994.
- Franco, J. G.; Arthur, V.; Franco, S. S. H., Arthur, P. B. Efeitos das radiações microondas em pupas de *Sitophilus oryzae* (Linné, 1763) (Coleoptera, Curculionidae) em Arroz, visando o seu controle. *Arquivos do Instituto Biológico, São Paulo*, v. 71 (supl.), n. 3., p. 1-4, 2004.
- Halverson, S. L., Burkholder, W. E., Bigelow, T. S., Nordheim, E. V., Misenheimer, M. E. High-power microwave radiation as an alternative insect control method for stored products. *Journal of Economic Entomology*, v.89, n.6, p.1638-1648, 1996.
- Ikediala, J.N., Tang, J., Neven, L.G., Drake, S.R. Quarantine treatment of cherries using 915MHz microwave: temperature mapping, codling moth mortality and fruit quality. *Postharvest Biology and Technology*, v.16, n.2, p.127-137, 1999.
- Kawuki, R. S.; Agona, A.; Nampala, P.; Adipala, E. A comparison of effectiveness of plant-based and synthetic insecticides in the field management of pod and storage pests of cowpea. *Crop Protection*, v. 24, n. 5, p. 473–478, 2005.
- Lima, M. P. L. de.; Oliveira, J. V. de.; Barros, R.; Torres, J. B.; Gonçalves, M. E. de C. Estabilidade da resistência de genótipos de caupi a *Callosobruchus maculatus* (Fabr.) em gerações sucessivas. *Scientia Agricola*, v. 59, n. 2, p. 275-280, 2001.
- Mota, A. C., Fernandes, K. V. S.; Sales, M. P.; Flores, V. M. Q.; Xavier Filho, E. Cowpea vicilins: fraction of urea denatured sub-units and effects on *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae) development. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. v. 45, n. 1, p. 1-5, 2002.
- Rami Reddy, P. V.; Todoriki, S.; Miyanoshta, A.; Imamura, T.; Hayashi, T. Effect of soft electron treatment on adzuki bean weevil, *Callosobruchus chinensis* (L.) (Col., Bruchidae). *Journal of Applied Entomology*, v. 130, n. 6\7, p. 393–399, 2006.
- Shim, J. K.; Aye, T. T.; Kim, D. W.; Kwon, Y. J.; Kwon, J. H.; Lee, K. Y. Gamma irradiation effects on the induction of three heat shock protein genes (piac25, hsc70 and hsp90) in the

- Indian meal moth, *Plodia interpunctella*. *Journal of Stored Products Research*, v. 45, n. 2, p. 75–81, 2009.
- Souza, M. do S. M. de.; Bezerra, F. M. L.; Teófilo, E. M. Coeficientes de cultura do feijão caupi na região litorânea do Ceará. *Irriga*, v.10, n.3, p.241-248, 2005.
- Vadivambal, R.; Jayas, D. S.; White, N. D. G. Wheat disinfection using microwave energy. *Journal of Stored Products Research*, v. 43, n. 4, p. 508-514, 2007.
- Vadivambal, R.; Jayas, D. S.; White, N. D. G. Determination of mortality of different life stages of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) in stored barley using microwaves. *Journal of Economic Entomology*, v. 101, n. 3, p. 1011-1021, 2008a.
- Vadivambal, R.; Jayas, D. S.; White, N. D. G. Mortality of stored-grain insects exposed to microwave energy. *Transactions Of The Asabe*, v. 51, n.2, p. 641-647, 2008b.
- Wang, S., Tang, J. Radio frequency and microwaves alternative treatments for insect control in nuts. *Agricultural Engineering Journal*, v.10, n. 3\4, p. 105-120, 2001.
- Wang, S.; Ikediala, J. N.; J. Tang, J.; Hansen, J. D.; Mitcham, E.; Mao, R.; Swanson, B. Radio frequency treatments to control codling moth in in-shell walnuts. *Postharvest Biology and Technology*, v. 22, n. 1, p. 29–38, 2001.
- Warchalewski, J. R.; Pradzynska, A.; Gralik, J.; Nawrot, J. The effect of gamma and microwave irradiation of wheat grain on development parameters of some stored grain pests. *Nahrung*, v. 44, n. 6, p. 411-414, 2000.
- Xavier, G. R.; Martins, L. M. V.; Rumjanek, N. G.; Freire Filho, F. R. Variabilidade genética em acessos de caupi analisada por meio de marcadores RAPD. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, n. 4, p. 353-359, 2005.

7. CAPÍTULO IV

Radiação microondas em insetos adultos de *Callosobruchus maculatus* visando seu controle em cultivares de feijão-caupi

Douglas Rafael e Silva Barbosa⁽¹⁾ e Lúcia da Silva Fontes⁽²⁾

⁽¹⁾Universidade Federal do Piauí, Bolsista do CNPq, Programa de Pós Graduação em Agronomia, Campus da Socopo, Bairro Socopo, CEP 64049-550 Teresina, PI. E-mail: dougrsb@hotmail.com

⁽²⁾Universidade Federal do Piauí, Departamento de Biologia, Campus Ministro Petrônio Portela, Bairro Ininga, CEP 64049-550 Teresina, PI. E-mail: lfontes@ufpi.br

Resumo - O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da radiação microondas em insetos adultos de *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775) e em sua geração filial nas cultivares de feijão-caupi BRS Paraguaçu e BRS Xique-xique e determinar a mais resistente. A irradiação foi feita em um forno microondas comercial, com frequência de 2.450 MHz, rendimento de potência de 800 W, sendo utilizado em baixa potência (30%). Os tempos de exposição à radiação microondas utilizados foram: 0 (test.), 60, 90, 120 e 150 segundos. Observou-se, para as cultivares BRS Paraguaçu e BRS Xique-xique, redução do número de insetos emergidos por tratamento, por grão e aumento do período ovo-adulto na geração filial de *C. maculatus*, com uma maior exposição à radiação microondas. Os tempos de exposição letais para adultos de *C. maculatus* são 120 e 150 segundos de radiação microondas e a cultivar BRS Xique-xique apresenta-se mais resistente que a cultivar BRS Paraguaçu.

Termos para indexação: *Vigna unguiculata*, caruncho, grãos armazenados, irradiação.

Microwave radiation on adults of *Callosobruchus maculatus* in order to control in cowpea cultivars

Abstract - The objective of this study was to evaluate the effects of microwave radiation on adults of *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775) in cowpea cultivars of BRS Paraguaçu and BRS Xique-xique and to determine the most resistant. The irradiation was done in a commercial microwave oven with 2450 MHz frequency, power output of 800 W, and was used in low power (30%). The exposure times to microwave radiation were: 0 (control), 60, 90, 120 and 150 seconds. It was observed for the BRS Paraguaçu and BRS Xique-xique, reducing the number of insects emerged per treatment, per grain and increased egg-adult period in the filial generation of *C. maculatus*, with a greater exposure to microwave radiation. The exposure times lethal for adults of *C. maculatus* are 120 and 150 seconds of microwave radiation and the BRS Xique-xique cultivar presents tougher than BRS Paraguaçu. Index terms: *Vigna unguiculata*, bean weevil, stored grain, irradiation.

Introdução

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L) Walp], também conhecido como feijão-macassar, feijão-de-corda ou fradinho é uma das principais culturas do Nordeste do Brasil (Oliveira et al., 2009). Nessa região, este feijão desempenha um papel importante na alimentação devido ao seu alto teor de proteína, além de gerar empregos para a população de baixa renda, fixando de mão-de-obra.

O caupi é uma leguminosa herbácea, sendo cultivado principalmente por agricultores familiares, quer como cultura de subsistência ou comercial (Dantas et al., 2002). Devido às condições de adaptabilidade e do hábito alimentar da população, o feijão-caupi é cultivado predominantemente nas regiões Norte e Nordeste, alcançando quase a totalidade das áreas plantadas com feijão no Amazonas, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí e Maranhão (Santos et al., 2000). A área cultivada com feijão-caupi no Brasil é de aproximadamente um milhão de

hectares dos quais cerca de 900 mil (90%) estão situados na região Nordeste do Brasil (Lima et al., 2007). Tem sido introduzido, recentemente, em áreas de grandes produtores agrícolas nos Cerrados dos Estados do Piauí e Maranhão, principalmente por sua compatibilidade com o sistema de rotação de cultura e o regime pluviométrico regional. Nessas áreas, os agricultores introduzem o caupi na “safrinha”, após a colheita do arroz, no final da estação das chuvas, tanto em lavouras recém-abertas, como em rotações de cultivos bianuais com soja. Nessas condições, o caupi desenvolve-se bem, com regime pluviométrico decrescente e, ainda, utiliza os nutrientes residuais da cultura do arroz, garantindo uma renda extra aos agricultores (Zilli et al., 2006).

O caruncho, *Callosobruchus maculatus* (Fabr.), é considerado a praga mais importante do caupi armazenado em regiões tropicais e subtropicais (Pereira et al., 2008). O risco de infestação pelo inseto inibe as iniciativas de estocagem, tanto de grãos, no mercado atacadista, quanto de sementes, o que acentua a instabilidade de preços e restringe a possibilidade de incrementos de produtividade da cultura via difusão de cultivares melhoradas (Barreto & Qinderé, 2000).

O controle de populações de pragas de grãos armazenados é feito, comumente, utilizando-se medidas de higienização, bem como aplicações preventivas com inseticidas organofosforados e piretróides, e curativas com o fumigante fosfina (Benhalima et al., 2004). Entretanto, há inconvenientes com o uso de defensivos químicos, como contaminação do ambiente, intoxicação de animais e do homem e ocorrência de resíduos tóxicos nos grãos, o que leva à necessidade de pesquisas com outros métodos de controle dessas pragas (Zanão et al., 2009).

Segundo Appleby & Credland (2004) o desenvolvimento e a liberação de variedades resistentes de caupi representam uma alternativa atrativa aos métodos químicos convencionais para o controle de *Callosobruchus maculatus*. Além disso, o uso de métodos físicos de

controle como o uso de radiação ionizante, X e microondas, constitui também uma boa alternativa de controle.

Trabalhos como os de Ikediala et al. (2000) usando radiofrequência e radiação microondas em traças, Warchalewski et al. (2000) aplicando radiação gama e microondas contra insetos de grãos armazenados, Wang et al. (2001, 2002), Wang et al. (2003) estudando propriedades dielétricas de insetos praga aplicando radiofrequência e radiação microondas, Mitcham et al. (2004) usando radiofrequência em pragas de nozes armazenadas e Vadivambal et al. (2007) usando radiação microondas em pragas de grãos armazenados, mostram ser viável o controle de insetos praga através de métodos físicos como irradiação.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo, determinar através do uso de um aparelho comercial, um tempo de exposição à radiação microondas letal para insetos adultos do caruncho *Callosobruchus maculatus*, observar os efeitos em sua geração filial nas cultivares de feijão-caupi BRS Paraguaçu e BRS Xique-xique e avaliá-las quanto à resistência.

Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Entomologia, Departamento de Biologia, Centro de Ciências da Natureza da Universidade Federal do Piauí. Para a realização do experimento foram utilizados insetos da espécie *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775), provenientes da criação estoque mantida no próprio laboratório, em vidro fechado de 5 L com tampas revestidas com lenço de papel, tipo "Yes", sob temperatura de $30 \pm 2^\circ\text{C}$ e $70 \pm 5\%$ de umidade relativa em sala climatizada.

Foram utilizados neste experimento, grãos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) das cultivares BRS Xique-xique e BRS Paraguaçu, provenientes da Embrapa Meio-Norte. Para que não houvesse interferência de outros insetos, que por acaso se encontrassem no interior

dos grãos, estes foram mantidos em baixa temperatura (-5° C em geladeira) por um período de aproximadamente 30 dias, a fim de se eliminar uma possível infestação latente.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 (cultivares de feijão-caupi: BRS Xique-xique e BRS Paraguaçu) x 5(tempos de exposição à radiação microondas: 0 (test.), 60, 90, 120 e 150 segundos), com cinco repetições. As parcelas experimentais foram constituídas por placas de Petri medindo 2 cm de altura por 15 cm de diâmetro, cobertas com filme de PVC com pequenos orifícios, contendo 50 grãos de cada cultivar. Em cada placa foram colocados 15 insetos de *C. maculatus* com idade de 24 horas, sem determinação do sexo, estes foram deixados por um dia sobre os grãos para que houvesse adaptação da população e efeito das cultivares, então foram posteriormente irradiados.

Para a irradiação foi utilizado um forno de microondas comercial, com frequência de 2.450 MHz, rendimento de potência de 800 W, sendo utilizado na baixa potência (30%), correspondendo a 240 W, com prato giratório, que proporciona uma melhor distribuição da temperatura no feijão irradiado. A distância da fonte de irradiação até o feijão-caupi foi de 17 cm, com as placas de Petri dispostas de maneira circular no prato.

Irradiou-se uma única vez os grãos juntamente com os insetos, então os insetos mortos foram retirados e os vivos deixados nas placas por 48 horas para que realizassem a oviposição. Utilizou-se um intervalo de 15 minutos nas aplicações de um tratamento a outro, evitando assim, efeito de pré-aquecimento que interfere na mortalidade.

Após a aplicação de radiação microondas, avaliou-se a mortalidade dos insetos expostos. Depois da emergência da geração filial dos adultos vivos irradiados, avaliou-se o número de insetos emergidos (número de orifícios) por grão, número de insetos emergidos por tratamento e período ovo-adulto.

Os dados originais, quando necessário, foram transformados para $(x+1)^{1/2}$, analisados quanto à variância, pelo teste F a 5% de probabilidade, e as médias comparadas pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

O aquecimento com microondas é baseado na transformação do campo de energia eletromagnética em energia térmica afetando moléculas polares de um material (Mullin, 1995). Com isso, o aquecimento gerado dentro e na superfície dos grãos é suficiente para inviabilizar fases imaturas dos insetos. Quando adultos, estes funcionam como o material atingido, provocando sua morte. No presente trabalho, os efeitos na mortalidade dos insetos de *Callosobruchus maculatus* através da aplicação de radiação microondas foram incrementados com um maior tempo de exposição. De acordo com os tempos de exposição aplicados, para os insetos que foram irradiados junto a grãos da cultivar BRS Paraguaçu este incremento na mortalidade é de 0,71% (Figura 1A) a cada aumento de 1 segundo no tempo de exposição, já na cultivar BRS Xique-xique o aumento na mortalidade é de 0,74% (Figura 1B).

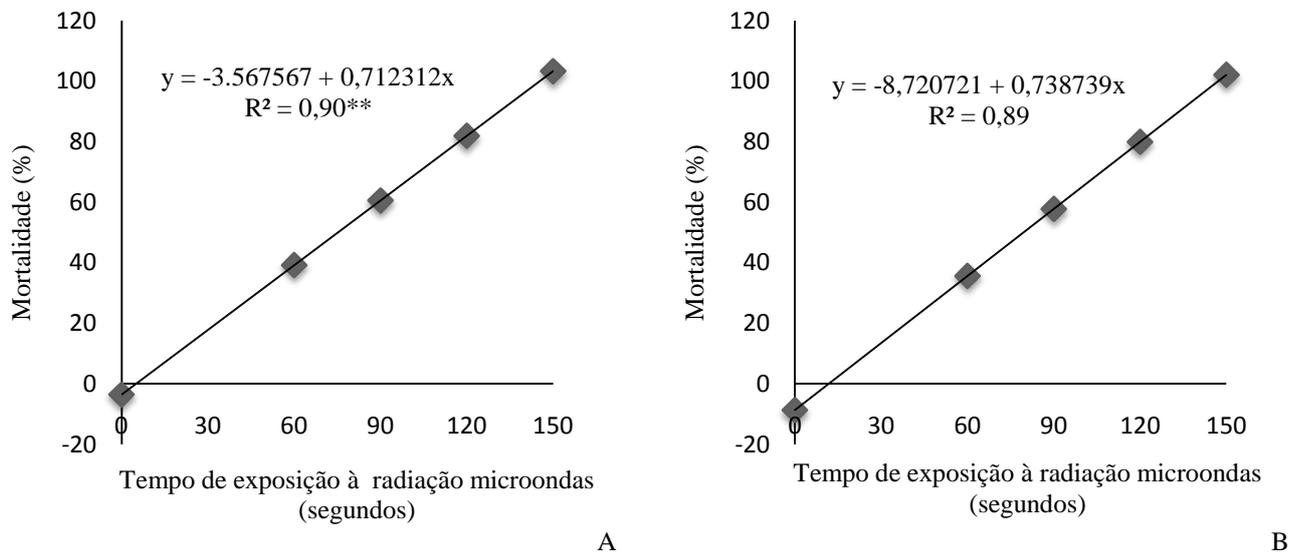


Figura 1. Mortalidade (%) de *Callosobruchus maculatus* irradiados com microondas juntamente com grãos de feijão-caupi. A) Insetos irradiados com a cultivar BRS Paraguaçu. B) Insetos irradiados com a cultivar BRS Xique-xique.

Segundo Hamid et al. (1968) a radiação de alta frequência pode não somente matar insetos através do calor dielétrico induzido dentro deles, mas pode igualmente afetar a reprodução dos sobreviventes. Os insetos que foram irradiados juntamente com os grãos da cultivar BRS Paraguaçu apresentaram uma mortalidade média de 56,27% contra 53,33% dos insetos irradiados com grãos de BRS Xique-xique. Apesar de uma maior mortalidade, os insetos irradiados com os grãos da cultivar BRS Paraguaçu apresentaram uma maior geração filial (Figura 2). Este fato pode ser explicado pela menor resistência por parte dos grãos desta cultivar, já que os tempos de exposição à radiação microondas aplicados foram os mesmos para as duas cultivares.

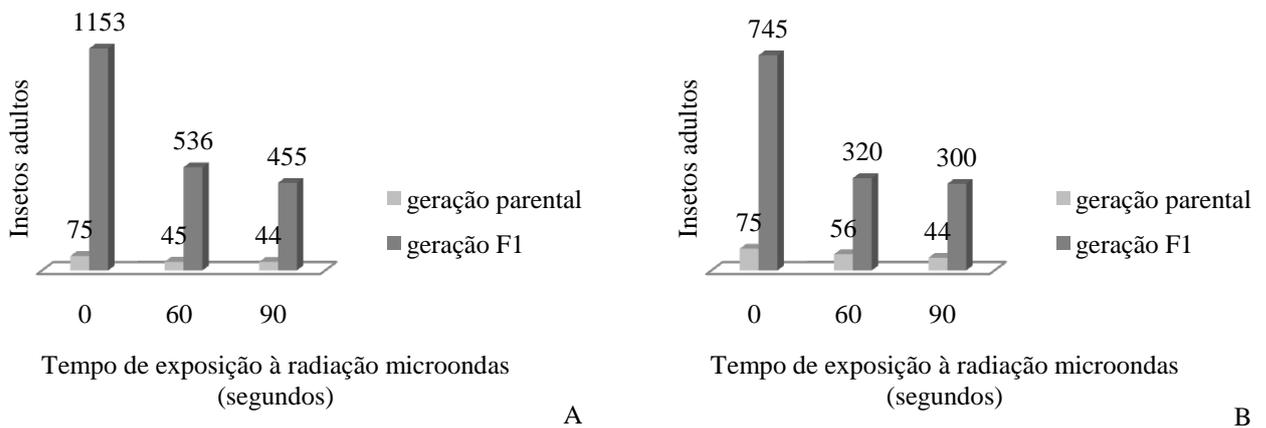


Figura 2. Comparação entre a geração parental e filial de insetos de *Callosobruchus maculatus* irradiados com microondas juntamente com grãos de feijão-caupi. A) Insetos irradiados com a cultivar BRS Paraguaçu. B) Insetos irradiados com a cultivar BRS Xique-xique.

Não houve diferença significativa entre o número médio de insetos emergidos na cultivar BRS Paraguaçu quando foram aplicados tempos de exposição à radiação microondas de 60 e 90 segundos, porém as médias destas foram significativamente menores que a da testemunha, apresentando uma emergência 57,02% menor (Tabela 1). O tratamento testemunha na cultivar BRS Xique-xique apresentou o maior número de insetos emergidos,

tendo uma emergência 58,39% maior que os tempos de 60 e 90 segundos, os quais não apresentaram diferença significativa entre si. Valizadegan et al. (2009) estudando a combinação de radiação microondas e armazenamento a frio para controlar *Oryzaephilus surinamensis*, conseguiram 100% de controle dos insetos adultos quando estes foram expostos a um tempo de 12 minutos com 72 horas de armazenamento a frio, sob uma frequência de 2450 MHz e potência de 400 W de radiação microondas. Já Franco (2001) estudando efeitos da radiação microondas em adultos de *Sitophilus oryzae* conseguiram a letalidade total de adultos quando expostos a 160 segundos de radiação microondas. No presente trabalho, os tempos de exposição de 120 e 150 segundos provocaram a morte de 100% dos insetos adultos e fizeram com que nenhum inseto adulto emergisse em grãos das duas cultivares de feijão-caupi, caso estes tenham ovipositado durante o período de adaptação da população.

Tabela 1. Número médio de insetos emergidos por tratamento, provenientes da geração parental de *Callosobruchus maculatus* irradiados com microondas juntamente com grãos de feijão-caupi.

Cultivares ⁽¹⁾	Tempo de exposição à Radiação Microondas (segundos) ⁽¹⁾				
	0	60	90	120	150
BRS Paraguaçu	230,60aA	107,20aB	91,00aB	0,00aC	0,00aC
BRS Xique-xique	149,00bA	64,00bB	60,00aB	0,00aC	0,00aC

⁽¹⁾Dados originais; para análise foram transformados em $(x + 1)^{1/2}$; C.V. (%) = 22,07.

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro da mesma coluna e maiúscula dentro da mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.

As duas cultivares diferiram significativamente no tratamento testemunha e no tempo de 60 segundos de radiação microondas, com a cultivar BRS Xique-xique apresentando uma menor emergência por tratamento em relação a cultivar BRS Paraguaçu, correspondendo a 63,67% desta. De acordo com Jackai & Asante (2003) o desenvolvimento e o uso de cultivares de caupi resistentes oferecem uma simples, barata e atrativa alternativa para a redução dos danos do bruquídeo *C. maculatus*. A cultivar BRS Xique-xique apresenta-se mais resistente que BRS Paraguaçu, resistência que deve ser do tipo antibiose já que os insetos não

tiveram chance de escolha pelas cultivares, portanto, sofrendo menos danos provocados pelo caruncho.

O tempo de 90 segundos aplicado as duas cultivares apresentou resultados semelhantes, já os tempos de 0 e 60 segundos diferiram entre as cultivares, com estes tratamentos apresentando uma emergência por grão 35,36 % e 40,19% menor na cultivar BRS Xique-xique (Tabela 2). Nas cultivares BRS Paraguaçu e BRS Xique-xique os tempos de 60 e 90 segundos tiveram uma emergência por grão 57,05 e 58,39% menor que o tratamento testemunha. Vadivambal et al. (2008) conseguiram 100% de mortalidade de insetos adultos de *Tribolium castaneum* com uma exposição a 56 segundos de radiação microondas em uma potência de 400 W. No presente trabalho, a partir de 120 segundos de radiação microondas foi inviabilizada a emergência por grão (Tabela 2), caso tenha ocorrido oviposição durante o período de 24 horas de adaptação da população, além de provocar a morte de todos os insetos adultos irradiados.

Tabela 2. Número médio de insetos emergidos por grão, provenientes da geração parental de *Callosobruchus maculatus* irradiados com microondas juntamente com grãos de feijão-caupi.

Cultivares ⁽¹⁾	Tempo de exposição à Radiação Microondas (segundos) ⁽¹⁾				
	0	60	90	120	150
BRS Paraguaçu	4,61aA	2,14aB	1,82aB	0,00aC	0,00aC
BRS Xique-xique	2,98bA	1,28bB	1,20aB	0,00aC	0,00aC

⁽¹⁾Dados originais; para análise foram transformados em $(x + 1)^{1/2}$; C.V. (%) = 10, 96.

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro da mesma coluna e maiúscula dentro da mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.

Nas duas cultivares de feijão-caupi observou-se um aumento do período médio ovo-adulto no tempo de 90 segundos de radiação microondas em relação ao tratamento testemunha e no tempo de 60 segundos, esse aumento foi de 4,66 e 4,24% para as cultivares BRS Paraguaçu e BRS Xique-xique, respectivamente (Tabela 3). Os tempos de 0 e 60 segundos foram significativamente diferentes entre as cultivares, com a cultivar BRS Paraguaçu

apresentando, em média, um período ovo-adulto 5,06% menor que a cultivar BRS Xique-xique em relação a estes tratamentos.

Tabela 3. Período médio ovo-adulto (dias) de insetos da geração filial, provenientes de *Callosobruchus maculatus* irradiados com microondas juntamente com grãos de feijão-caupi.

Cultivares ⁽¹⁾	Tempo de exposição à Radiação Microondas (segundos) ⁽¹⁾				
	0	60	90	120	150
BRS Paraguaçu	22,40bB	22,60bB	23,60bA	-	-
BRS Xique-xique	23,60aB	23,80aB	24,75aA	-	-

⁽¹⁾Dados originais; para análise foram transformados em $(x + 1)^{1/2}$; C.V. (%) = 2, 87.

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro da mesma coluna e maiúscula dentro da mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de SNK a 5% de probabilidade.

Shayesteh & Barthakur (1996) usando intervalos intermitentes de 1 a 5 minutos de exposição à radiação microondas em frequência de 2450 W, mataram mais eficientemente insetos das espécies *Tribolium confusum* e *Plodia interpunctella*. A frequência utilizada no presente trabalho foi também de 2450 MHz, além de uma potência de 240 W, suficiente para inviabilizar a emergência da geração filial de adultos vivos irradiados a partir de 120 segundos. Por meio das equações de regressão lineares, pôde-se estimar a redução na emergência por tratamento e por grão, de acordo com o tempo de exposição. Na cultivar BRS Paraguaçu esta redução é de 1,60 e 0,03 insetos a cada segundo acrescido, para o número de insetos emergidos por tratamento e número de insetos por grão, respectivamente (Figura 3A e 3 B). Já para a cultivar BRS Xique-xique estes valores são de 1,03 e 0,02 insetos (Figura 3C e 3D).

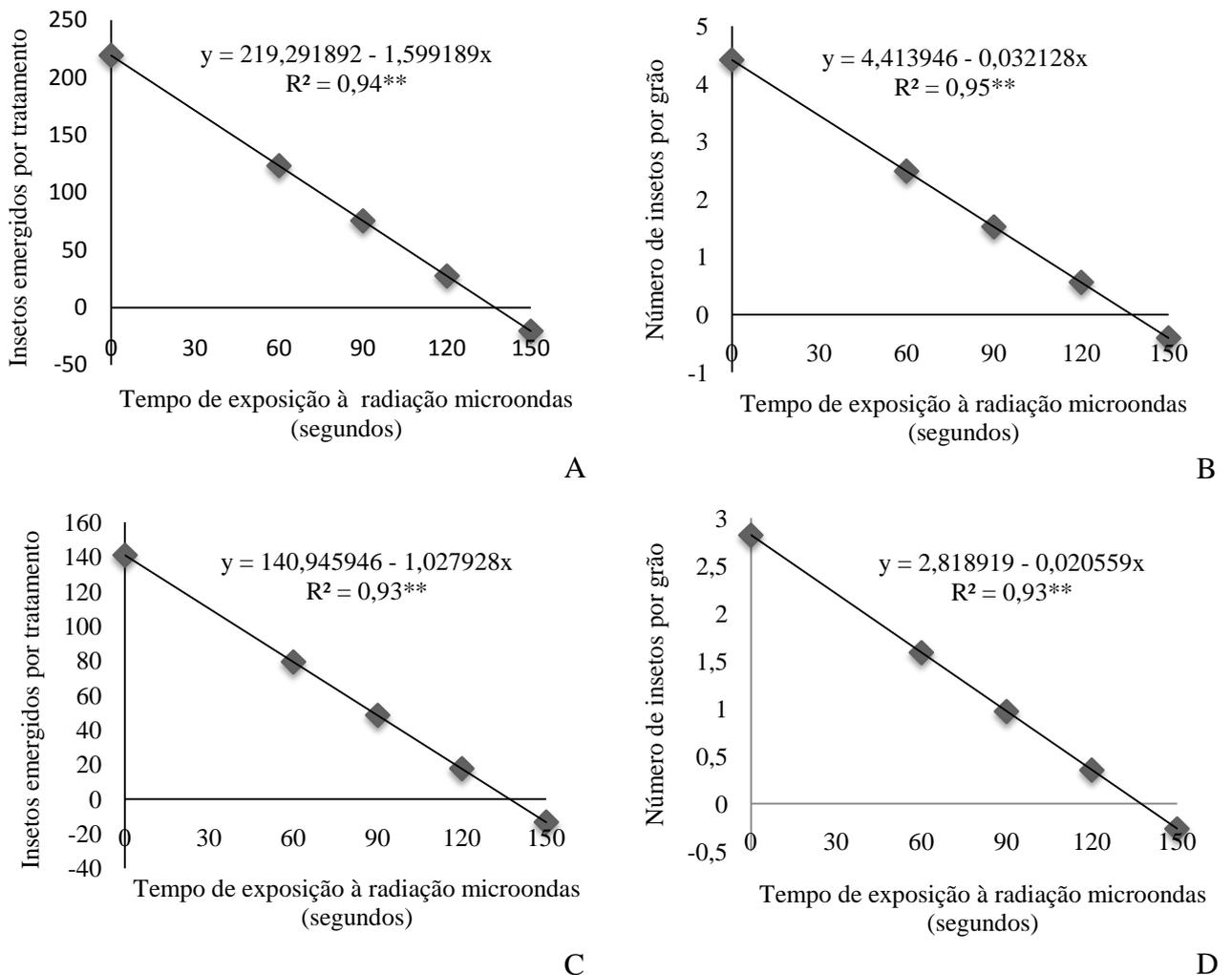


Figura 3. Efeitos da radiação microondas em insetos adultos de *Callosobruchus maculatus* nas cultivares de feijão-caupi. A) Número de insetos emergidos por tratamento na cultivar BRS Paraguaçu. B) Número de insetos por grão na cultivar BRS Paraguaçu. C) Número de insetos emergidos por tratamento na cultivar BRS Xique-xique. D) Número de insetos por grão na cultivar BRS Xique-xique.

Fathima et al. (2001) estudando os efeitos da secagem com microondas (potência de 100% e frequência de 2450 MHz) nas características sensoriais de vegetais, observaram que com uma variação de 10 a 16 minutos de exposição, a secagem com radiação microondas afetava a cor, aparência e odor dos vegetais. No presente trabalho, o tempo de exposição utilizado foi relativamente pequeno, o que deve ter afetado minimamente as propriedades

organolépticas dos grãos. Segundo Wang & Tang (2001) os tratamentos com radiofrequência e microondas são similares a outros tratamentos térmicos convencionais que atacam insetos matando-os termicamente. Então, uma chave importante para o desenvolvimento de um tratamento térmico alternativo aceitável é alcançar um equilíbrio entre minimizar os impactos térmicos na qualidade do produto e matar completamente os insetos.

Conclusões

1. O tempo de exposição à radiação microondas de 90 segundos aumenta o período ovo-adulto de *Callosobruchus maculatus*.
2. Os tempos de exposição à radiação microondas de 120 e 150 segundos proporcionam um controle de 100% dos insetos de *Callosobruchus maculatus*.
3. Apresentando um menor número de insetos emergidos por tratamento e por grão e um período ovo-adulto maior, a cultivar BRS Xique-xique é mais resistente que a cultivar BRS Paraguaçu.

Referências

- APPLEBY, J.H.; CREDLAND, P.F. Environmental conditions affect the response of West African *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae) populations to susceptible and resistant cowpeas. **Journal of Stored Products Research**, v.40, n.3, p. 269-287, 2004.
- BARRETO, P.D.; QUINDERÉ, M.A.W. Resistência de genótipos de caupi ao caruncho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.4, p.779-785, 2000.
- BENHALIMA, H.; CHAUDHRY, M. Q.; MILLS, K. A.; PRICE, N. R. Phosphine resistance in stored-product insects collected from various grain storage facilities in Marocco. **Journal of Stored Products Research**, v.40, n.3, p.241-249, 2004.
- FATHIMA, A.; BEGUM, K.; RAJALAKSHMI, D. Microwave drying of selected greens and their sensory Characteristics. **Plant Foods for Human Nutrition**, v.56, n.4, p.303-311, 2001.
- FRANCO, J.G. **Efeitos da radiação microondas nas diferentes fases do ciclo evolutivo de *Sitophilus oryzae* (Linné, 1763) Coleoptera, Curculionidae em arroz, visando o seu controle**. 2001. 45p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

HAMID, M.A.K.; KASHYAP, C.S.; CAUWENBERGHE, R.V. Control of grain insects by microwave power. **Journal of Microwave Power**, v.3, n.3, p.124-135, 1968.

IKEDIALA, J.N.; TANG, J.; DRAKE, S.R.; NEVEN, L.G. Dielectric properties of apples and codling moths in relation to microwave and RF heating. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v.43, n.5, p.1175-1184, 2000.

JACKAI, L.E.N.; ASANTE, S.K. A case for the standardization of protocols used in screening cowpea, *Vigna unguiculata* for resistance to *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) (Coleoptera: Bruchidae). **Journal of Stored Products Research**, v.39, n.3, p.251-263, 2003.

LIMA, C.J.G.S.; OLIVEIRA, F.A.; MEDEIROS, J.F.; OLIVEIRA, M.K.T.; JÚNIOR, A.B.A. Resposta do feijão caupi a salinidade da água de irrigação. **Revista verde**, v.2, n.2, p.79-86, 2007.

MITCHAM, E.J.; VELTMAN, R.H.; FENG, X.; DE CASTRO, E. de; , JOHNSON, J.A.; SIMPSON, T.L.; BIASI, W.V.; WANG, S.; TANG, J. Application of radio frequency treatments to control insects in in-shell walnuts. **Postharvest Biology and Technology**, v.33, n.1, p.93-100, 2004.

MULLIN, J. Microwave processing. In: Gould, G.W. (Ed.), **New methods of food preservation**. Blackie Academic and Professional, Bishopbriggs, Glasgow, 1995. p.112-134.

OLIVEIRA, A.P. de; SILVA, J.A. da; LOPES, E.D.; SILVA, E.E.; ARAÚJO, L.H.A.A.; RIBEIRO, V.V. Rendimento econômico do feijão-caupi em função de doses de potássio. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, n.2, p.629-634, 2009.

PEREIRA, A.C.R.L.; OLIVEIRA, J.V. de; GONDIM JUNIOR, M.G.C.; CÂMARA, C.A.G. da. Atividade inseticida de óleos essenciais e fixos sobre *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775) (Coleoptera: Bruchidae) em grãos de caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.3, p.717-724, 2008.

SANTOS, C.A.F.; ARAÚJO, F.P. Produtividade e morfologia de genótipos de caupi em diferentes densidades populacionais nos sistemas irrigado e de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.10, p.1977-1984, 2000.

VADIVAMBAL, R.; JAYAS, D.S.; WHITE, N.D.G. Wheat disinfestation using microwave energy. **Journal of Stored Products Research**, v. 43, n. 4, p. 508-514, 2007.

VADIVAMBAL, R.; JAYAS, D.S.; WHITE, N.D.G. Determination of mortality of different life stages of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) in stored barley using microwaves. **Journal of Economic Entomology**, v.101, n.3, p.1011-1021, 2008.

VALIZADEGAN, O.; POURMIRZA, A.A.; SAFARALIZADEH, M.H. Combination of microwaves radiation and cold storage for control of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Col. Silvanidae). **Journal of Biological Sciences**, v. 9, n. 3, p. 231-236, 2009.

WANG, S., TANG, J. Radio frequency and microwaves alternative treatments for insect control in nuts. **Agricultural Engineering Journal**, v.10, n. 3\4, p. 105-120, 2001.

WANG, S.; IKEDIALA, J.N.; TANG, J.; HANSEN, J.D.; MITCHAM, E.; MAO, R.; SWANSON, B. Radio frequency treatments to control codling moth in in-shell walnuts. **Postharvest Biology and Technology**, v.22, n.1, p.29-38, 2001.

WANG, S.; TANG, J.; JOHNSON, J.A.; MITCHAM, E.; HANSEN, J.D.; CAVALIERI, R.P.; BOWER, J.; BIASI, B. Process protocols based on radio frequency energy to control field and storage pests in in-shell walnuts. **Postharvest Biology and Technology**, v.26, n.3, p.265–273, 2002.

WANG, S.; TANG, J.; JOHNSON, J.A.; MITCHAM, E.; HANSEN, J.D.; HALLMAN, G.; DRAKE, S.R.; WANG, Y. Dielectric properties of fruits and insect pests as related to radio frequency and microwave treatments. **Biosystems Engineering**, v.85, n.2, p.201–212, 2003.

WARCHALEWSKI, J.R.; PRADZYNSKA, A.; GRALIK, J.; NAWROT, J. The effect of gamma and microwave irradiation of wheat grain on development parameters of some stored grain pests. **Nahrung**, v. 44, n. 6, p. 411-414, 2000.

ZANÃO, C.F.P.; CANNIATTI-BRAZACA, S.G.; SARMENTO, S.B.S.; ARTHUR, V. Efeito da irradiação gama nas características físico-químicas e sensoriais do arroz (*Oryza sativa* L.) e no desenvolvimento de *Sitophilus oryzae* L. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.29, n.1, p.46-55, 2009.

ZILLI, J.E.; VALICHESKI, R.R.; RUMJANEK, N.G.; SIMÕES-ARAÚJO, J.L.; FREIRE FILHO, F.R.; NEVES, M.C.P. Eficiência simbiótica de estirpes de *Bradyrhizobium* isoladas de solo do Cerrado em caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.5, p.811-818, 2006.

8. CONCLUSÕES GERAIS

De modo geral a cultivar de feijão-caupi BRS Xique-xique mostrou-se mais resistente ao ataque de *Callosobruchus maculatus* que a cultivar BRS Paraguaçu, exceção feita à fase larval.

Observou-se nas diferentes fases do ciclo evolutivo, redução do número de insetos emergidos por tratamento, por grão e aumento do período ovo-adulto, com uma maior exposição à radiação microondas.

A fase de pupa foi a mais sensível, obtendo-se 100% de mortalidade quando esta foi exposta ao tempo de 90 segundos.

O tempo de exposição necessário para o controle da fase larval e insetos adultos foi de 120 segundos.

A fase de ovo foi a mais resistente, com o tempo de exposição de 150 segundos obteve-se um controle de 100%.

Recomenda-se o tempo de exposição de 150 segundos de radiação microondas em frequência de 2450 MHz e potência de 240 W para o controle de todas as fases do ciclo evolutivo de *Callosobruchus maculatus*.